



TUGAS AKHIR - RE 14581

STUDI PENGGUNAAN MEMBRAN KOMPOSIT KITOSAN DAN ZEOLIT PADA PENGOLAHAN LIMBAH PEWARNAAN BATIK

TIARA AULIA KUSUMANINGRATRI
3312100057

DOSEN PEMBIMBING
ALIA DAMAYANTI ST., MT., Ph.D

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - RE 14581

STUDY OF BATIK COLOURING WASTEWATER TREATMENT USING CHITOSAN AND ZEOLITE COMPOSITE

TIARA AULIA KUSUMANINGRATRI
3312100057

SUPERVISOR
ALIA DAMAYANTI ST., MT., Ph.D

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**STUDI PENGGUNAAN MEMBRAN KOMPOSIT KITOSAN
DAN ZEOLIT PADA PENGOLAHAN LIMBAH PEWARNAAN
BATIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Lingkungan
**Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh

Tiara Aulia Kusumaningratri
NRP 3312100057

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Alia Damayanti ST., MT., PhD
197702092003122001



STUDI PENGGUNAAN MEMBRAN KOMPOSIT KITOSAN DAN ZEOLIT PADA PENGOLAHAN LIMBAH PEWARNAAN BATIK

Nama Mahasiswa : Tiara Aulia Kusumaningratri
NRP : 3312100057
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Alia Damayanti ST., MT., PhD

ABSTRAK

Limbah cair hasil proses pewarnaan batik mengandung zat warna yang digunakan hanya sekitar 5% dan sisanya dibuang sebagai limbah. Senyawa kimia yang terkandung di dalam zat warna dalam konsentrasi yang besar akan menaikkan kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*). Saat ini salah satu teknologi pengolah limbah yang berkembang adalah teknologi membran. Membran dapat dibuat dari bahan anorganik yang mudah didapat seperti zeolit dan mencampurkannya dengan bahan organik seperti kulit udang (kitosan). Dalam penelitian ini akan dianalisis mengenai komposisi optimum campuran dari zeolit dan kitosan sebagai bahan membran untuk menyisihkan kandungan warna dan COD limbah cair batik serta menganalisa nilai rejeksi dan nilai fluks yang dihasilkan oleh membran.

Variasi dalam penelitian ini adalah komposisi campuran zeolit dan kitosan serta variasi tekanan dalam aplikasi reaktor. Variasi perbandingan massa kitosan dan zeolit yang digunakan adalah 1:1, 1:2, dan 2:1. Sedangkan variasi tekanan yang diaplikasikan pada reaktor adalah 1 bar dan 1,5 bar. Sistem membran diaplikasikan dengan menggunakan aliran *cross flow*. Analisa parameter COD dan warna dilakukan terhadap *permeate*. Struktur dari membran kemudian dianalisa dengan mikroskop SEM EDX.

Nilai rejeksi COD dan warna terbesar dihasilkan oleh membran komposit kitosan – zeolit dengan komposisi 2:1 pada tekanan reaktor 1 bar. Rejeksi COD dan warna berturut turut sebesar 98,59% dan 94,71%. Sedangkan fluks terbesar dihasilkan oleh membran komposit kitosan – zeolit dengan komposisi 1:2 pada tekanan 1,5 bar yaitu 80,3 L/m².jam. Komposisi membran yang paling optimum untuk menyisihkan

COD dan warna pada limbah pewarnaan batik adalah komposisi 2:1.

Kata kunci : COD, kitosan zeolit, limbah cair batik, membran, warna

STUDY OF BATIK COLOURING WASTEWATER TREATMENT USING CHITOSAN AND ZEOLITE COMPOSITE

Name of Student : Tiara Aulia Kusumaningratri
NRP : 3312100057
Study Programme : Environmental Engineering
Supervisor : Alia Damayanti ST., MT., PhD

ABSTRACT

Wastewater coming from colouring process of batik use only 5 % of dye and the rest become waste. Dye in wastewater related to high COD (*Chemical Oxygen Demand*). Membrane technology is one of wastewater treatment technology that is expanding nowadays. Membrane can be produced from anorganic material such as zeolite and organic material such as chitosan. The optimum composition has been analyzed from zeolite and chitosan as a membrane to remove color and COD in wastewater. It's also analysis about rejection and fluks from the membrane.

The variables of this study are variation of composition from zeolite-chitosan and variation of pressure in the reactor. Variation of composite composition are chitosan-zeolite 1:1, 1:2, and 2:1. Variation of the pressure of the reactor are 1 bar and 1,5 bar. The membrane system uses cross flow current for running. Quality of COD and color substance has been analyzed in the permeate. Structure of membrane also has been analyzed with SEM EDX microscope.

The highest rejection of COD and color are resulted by composition membrane chitosan and zeolite in 2:1 at 1 bar pressure. COD rejection is 98,59% and color rejection is 94,71%. The highest flux is resulted by composition membrane in 1:2 at 1,5 bar pressure that is 80,3 L/m².h. The best composition of chitosan and zeolite membrane for removing COD and color in batik wastewater is 2:1 composition.

Key word : COD, color substance, chitosan zeolite, batik wastewater, membrane.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan judul **“Studi Penggunaan Membran Komposit Kitosan dan Zeolit pada Pengolahan Limbah Pewarnaan Batik”**. Penulisan tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi persyaratan sebelum mengerjakan tugas akhir dan sebagai prasyarat kelulusan Program Sarjana Teknik Lingkungan ITS. Pada penyusunan tugas akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Alia Damayanti, ST., MT., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan arahan dan saran kepada penulis.
2. Bapak Adhi Yuniarto ST., MT., Ph.D, Ibu Harmin Sulistiyaning Titah, ST., MT., PhD, dan Bapak Alfian Purnomo ST., MT selaku dosen penguji yang memberikan bimbingan dan saran kepada penulis.
3. Bapak Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. S.E, M.Sc, Ph.D selaku dosen wali, atas dukungan Bapak selama ini.
4. Keluarga di rumah yang selalu memberi bantuan, doa, dan semangat.
5. Teman – teman Angkatan 2012 Teknik Lingkungan ITS yang telah memberikan dorongan dan semangat.

Pada penulisan laporan tugas akhir ini tentunya tidak lepas dari kekurangan, baik aspek kualitas maupun aspek kuantitas dari materi penelitian yang disajikan. Semua ini didasarkan dari keterbatasan yang dimiliki penulis. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran sehingga nantinya dapat lebih baik dalam penulisan laporan. Akhir kata semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang memerlukan.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

DAFTAR ISI

| | |
|--|------------|
| ABSTRAK | i |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR..... | x |
| DAFTAR TABEL | xii |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Ruang Lingkup | 3 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Limbah Cair Industri Tekstil Batik | 5 |
| 2.1.1 Sumber Limbah Cair Industri Batik..... | 5 |
| 2.1.2 Karakterisasi Limbah Cair Batik | 7 |
| 2.1.3 Baku Mutu Limbah Tekstil | 7 |
| 2.2 Parameter Uji Air Limbah | 8 |
| 2.2.1 Parameter COD..... | 8 |
| 2.2.2 Parameter Warna | 9 |
| 2.3 Membran..... | 15 |
| 2.3.1 Definisi Membran..... | 15 |
| 2.3.2 Jenis – jenis Membran | 16 |
| 2.3.3 Zeolit..... | 19 |
| 2.3.4 Kitosan..... | 19 |
| 2.4 Komposit Adsorben Zeolit dan Kitosan | 20 |
| 2.5 Aliran Cross Flow pada Reaktor..... | 22 |
| 2.6 Pencucian Membran..... | 23 |
| 2.7 Karakterisasi Membran..... | 27 |
| 2.7.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)..... | 27 |
| 2.7.2 Permeabilitas Membran | 29 |
| 2.7.3 Permeselektivitas Membran | 30 |
| 2.8 Penelitian Terdahulu..... | 30 |
| BAB 3 METODE PENELITIAN | 33 |
| 3.1 Kerangka Alur Penelitian | 33 |
| 3.2 Ide Penelitian | 35 |
| 3.3 Studi Literatur | 35 |
| 3.4 Variasi Penelitian | 35 |

| | | |
|---|---|------------|
| 3.5 | Pelaksanaan Penelitian | 36 |
| 3.5.1 | Pengambilan dan Pengawetan Sampel | 36 |
| 3.5.2 | Persiapan Zeolit..... | 36 |
| 3.5.3 | Pembuatan Larutan Membran..... | 38 |
| 3.6 | Sistem Membran pada Reaktor <i>Cross Flow</i> | 40 |
| 3.7 | Analisa Sampel..... | 43 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN | | 45 |
| 4.1 | Analisis Karakteristik Limbah Cair Batik | 45 |
| 4.2 | Hasil Pengujian Membran dalam Reaktor | 46 |
| 4.2.1 | Pengaruh Tekanan dan Komposisi Bahan Membran dalam Aplikasi Reaktor <i>Cross Flow</i> terhadap Koefisien Rejeksi Warna | 46 |
| 4.2.2 | Pengaruh Tekanan dan Komposisi Bahan Membran dalam Aplikasi Reaktor <i>Cross Flow</i> terhadap Koefisien Rejeksi COD | 56 |
| 4.2.3 | Pengaruh Tekanan dan Komposisi Bahan Membran dalam Aplikasi Reaktor <i>Cross Flow</i> terhadap Nilai Fluks Membran | 56 |
| 4.3 | Karakterisasi Membran Error! Bookmark not defined. | |
| 4.3.1 | Analisa Morfologi SEM | 73 |
| 4.3.2 | Analisis Kandungan Unsur Pada Membran dengan EDX | 75 |
| 4.4 | Pengaruh Membran yang dicuci terhadap Fluks Error! Bookmark not defined. | |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN | | 81 |
| 5.1 | Kesimpulan | 81 |
| 5.2 | Saran | 82 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 83 |
| LAMPIRAN A | | 91 |
| LAMPIRAN A (Lanjutan)..... | | 92 |
| LAMPIRAN B | | 93 |
| LAMPIRAN B (Lanjutan)..... | | 94 |
| LAMPIRAN C | | 95 |
| LAMPIRAN C (Lanjutan)..... | | 96 |
| LAMPIRAN C (Lanjutan)..... | | 97 |
| LAMPIRAN D | | 99 |
| LAMPIRAN E | | 100 |

LAMPIRAN F101
LAMPIRAN F (Lanjutan).....102
BIOGRAFI PENULIS103

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Tahap Produksi Batik | 6 |
| Gambar 2.2 Adsorpsi pada membran | 16 |
| Gambar 2.3 Proses pada Membran | 17 |
| Gambar 2.4 Struktur Kitosan | 20 |
| Gambar 2.5 Mekanisme Penambahan Larutan Kitosan pada Zeolit | 21 |
| Gambar 2.6 SEM Komposit Zeolit dan Kitosan | 22 |
| Gambar 2.7 Aliran <i>Dead End</i> dan <i>Cross Flow</i> | 22 |
| Gambar 2.8 Fouling Reversibel dan Irreversibel | 23 |
| Gambar 2.9 Proses Filtrasi Membran | 24 |
| Gambar 2.10 Fluks sebagai Fungsi dari Waktu | 24 |
| Gambar 2.11 Perubahan fluks membran yang dilalui aliran <i>permeate</i> dengan adanya pembersihan (<i>cleaning</i>) <i>fouling</i> yang terjadi pada membran | 25 |
| Gambar 2.12 Filter pada Membran | 27 |
| Gambar 2.13 Skema Kerja SEM | 29 |
| Gambar 3.1 Kerangka Penelitian | 34 |
| Gambar 3.2 Zeolit hasil ayakan | 36 |
| Gambar 3.3 Larutan kitosan | 38 |
| Gambar 3.4 Larutan membran (a) dan Membran dicetak (b) | 39 |
| Gambar 3.5 Membran setelah jadi | 40 |
| Gambar 3.6 Peletakan Membran pada Reaktor <i>Cross Flow</i> , (1) Tempat keluar permeate, (2) Karet, (3) Kawat kasa, (4) Membran Kitosan-Zeolit, (5) Kawat kasa, (6) Water mur | 41 |
| Gambar 3.7 Skema Reaktor <i>Cross Flow</i> | 42 |
| Gambar 3.8 Reaktor <i>Cross Flow</i> | 42 |
| Gambar 3.9 Membran setelah Filtrasi | 43 |
| Gambar 3.10 Permeate Hasil Filtrasi | 44 |
| Gambar 3.11 (a) Proses coating (b) Mikroskop SEM Merk ZEISS | 44 |
| Gambar 4.1 Rejeksi Warna pada Tekanan 1 Bar | 48 |
| Gambar 4.2 Rejeksi Warna pada Tekanan 1,5 Bar | 49 |
| Gambar 4.3 Rejeksi Warna | 55 |
| Gambar 4.4 Rejeksi COD pada Tekanan 1 Bar | 59 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.5 Rejeksi COD pada Tekanan 1,5 Bar | 59 |
| Gambar 4.6 Rejeksi COD Hasil Filtrasi | 64 |
| Gambar 4.7 Fluks Membran Tekanan 1 Bar | 67 |
| Gambar 4.8 Fluks Membran Tekanan 1,5 bar | 67 |
| Gambar 4.9 Nilai Fluks pada Variasi Tekanan dan Komposisi | 72 |
| Gambar 4.10 SEM melintang dari membran..... | 73 |
| Gambar 4.11 Pori membran..... | 74 |
| Gambar 4.12 Membran setelah filtrasi | 74 |
| Gambar 4.13 EDX Membran | 75 |
| Gambar 4.14 Persebaran unsur yang tersaring | 76 |
| Gambar 4.15 Fluks Membran Setelah Dicuci | 79 |
| Gambar 5.1 Kurva kalibrasi Warna | 98 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Alat dan Bahan Produksi Batik | 5 |
| Tabel 2.2 Karakteristik Limbah Cair Batik | 7 |
| Tabel 2.3 Baku Mutu Limbah Tekstil | 7 |
| Tabel 2.4 Baku Mutu Limbah Tekstil | 11 |
| Tabel 2.5 Zat Warna Tekstil berdasarkan Pencelupan | 13 |
| Tabel 2.6 Jenis Zat Warna Tekstil | 14 |
| Tabel 2.7 Jenis Membran Berdasarkan Fungsi | 18 |
| Tabel 2.8 Jenis Larutan Kimia Pencuci Membran | 26 |
| Tabel 3.1 Variasi Penelitian | 36 |
| Tabel 4.1 Karakteristik Limbah Cair Batik Awal | 45 |
| Tabel 4.2 Kandungan Warna pada Umpan Awal Membran Tekanan 1 Bar | 46 |
| Tabel 4.3 Rejeksi Warna Tekanan 1 Bar | 46 |
| Tabel 4.4 Rejeksi Warna Tekanan 1 Bar | 47 |
| Tabel 4.5 Kandungan Warna pada Umpan Awal Membran Tekanan 1,5 Bar | 47 |
| Tabel 4.6 Rejeksi Warna Tekanan 1,5 Bar | 47 |
| Tabel 4.7 Rejeksi Warna Tekanan 1,5 Bar | 48 |
| Tabel 4.8 Hasil Penyisihan Warna | 51 |
| Tabel 4.9 Perbandingan Rejeksi Warna Membran Komposit | 52 |
| Tabel 4.10 Nilai Warna Hasil Filtrasi | 53 |
| Tabel 4.11 Rejeksi Warna Hasil Filtrasi | 54 |
| Tabel 4.12 Kandungan COD pada Umpan Awal Membran Tekanan 1 Bar | 56 |
| Tabel 4.13 Rejeksi COD Tekanan 1 Bar | 56 |
| Tabel 4.14 Rejeksi COD Tekanan 1 Bar | 56 |
| Tabel 4.15 Kandungan COD pada Umpan Awal Membran Tekanan 1,5 Bar | 57 |
| Tabel 4.16 Rejeksi COD Tekanan 1,5 Bar | 57 |
| Tabel 4.17 Rejeksi COD Tekanan 1,5 Bar | 57 |
| Tabel 4.18 Hasil Penyisihan COD | 60 |
| Tabel 4.19 Perbandingan Nilai Rejeksi COD pada Membran Komposit | 61 |
| Tabel 4.20 Nilai COD Hasil Filtrasi | 62 |
| Tabel 4.21 Rejeksi COD Hasil Filtrasi | 63 |
| Tabel 4.22 Fluks Membran pada Tekanan 1 Bar | 65 |
| Tabel 4.23 Fluks Membran pada Tekanan 1,5 Bar | 66 |

| | |
|---|----|
| Tabel 4.24 Jumlah Permeat yang Dihasilkan..... | 69 |
| Tabel 4.25 Perbandingan Fluks Membran Komposit | 70 |
| Tabel 4.26 Perbandingan Nilai Fluks pada Variasi Tekanan dan Komposisi | 71 |
| Tabel 4.27 Kandungan Unsur | 75 |
| Tabel 4.28 Fluks Membran Awal..... | 78 |
| Tabel 4.29 Fluks Membran Dicuci..... | 78 |
| Tabel 4.30 Rejeksi COD Setelah Membran Dicuci | 80 |
| Tabel 4.31 Rejeksi Warna Setelah Membran Dicuci..... | 80 |
| Tabel 5.1 Hasil Kalibrasi Warna | 97 |

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tekstil memegang peranan penting di ranah industri global karena kontribusinya tidak dapat disangkal sebagai kepuasan dasar manusia dan perekonomian dunia. Industri tekstil merupakan salah satu konsumen air yang digunakan untuk zat pewarna dan proses kimia dalam proses produksinya. Setelah digunakan dalam proses, bahan bekas proses tersebut tidak dapat dipakai lebih lanjut lagi hingga akhirnya akan dibuang di *effluent*. *Effluent* ini akan menyebabkan masalah jika tidak diolah terlebih dahulu.

Kandungan dari air limbah tekstil biasanya kaya akan zat warna, *chemical oxygen demand* (COD), kimia kompleks, garam anorganik, *total dissolved solids* (TDS), pH, suhu, kekeruhan dan salinitas (Verma *et al.*, 2012). Kontribusi terbesar limbah tekstil terbentuk dari tahapan proses produksi. Tahapan proses produksi terdiri dari pewarnaan, pencetakan, dan pencucian (Li *et al.*, 2012). Sebagian besar industri tekstil menggunakan pewarna sintetis dengan alasan harganya yang murah, warnanya yang tahan lama, mudah diperoleh dan digunakan. Namun limbah yang dihasilkan masih berwarna dan sulit terdegradasi. (Chatterjee *et al.*, 2007). Salah satu jenis industri tekstil skala kecil namun menjamur yang memiliki banyak peminat di Indonesia adalah industri batik. Namun, peningkatan respon konsumen terhadap batik tidak dibarengi dengan pemahaman pengrajin batik mengenai dampak limbah terhadap lingkungan. Sehingga perlu adanya pengolahan limbah batik tersebut sebelum dibuang ke badan air.

Salah satu teknologi pengolahan limbah yang sedang berkembang pesat adalah teknologi membran. Membran berupa selaput tipis semipermeabel yang dapat memisahkan dua fase dengan cara menahan komponen tertentu dan melewatkan komponen lainnya melalui celah pori-porinya (Osada dan Nakagawa, 1992). Teknik pengolahan limbah menggunakan membran memiliki beberapa kelebihan. Kelebihannya adalah sederhana dalam proses operasionalnya, dapat berlangsung dalam suhu kamar, sifatnya tidak destruktif, sehingga tidak

menghasilkan perubahan (degradasi) dari zat yang dapat dipisahkan baik secara fisik maupun secara kimia, serta sebagian besar membran dapat digunakan kembali. Oleh karena itu, membran dapat dikategorikan sebagai *clean technology*. Selain itu pemisahannya pun dapat berlangsung terus menerus tanpa memerlukan energi yang banyak. Berdasarkan bahan pembuatnya, membran dibedakan menjadi membran organik alamiah dari selulosa dan sintesis serta membran anorganik (Chelme-Ayala *et al.*, 2009).

Zeolit merupakan salah satu polimer alam yang sering dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan membran anorganik. Zeolit alam memiliki kemampuan dalam berbagai proses kimia seperti adsorben, katalis, dan penukar ion. Penerapan zeolit dalam teknologi membran sebagai media penyerapan dan pemisahan secara bersamaan (McLeary *et al.*, 2006). Membran zeolit memiliki struktur ukuran mikropori yang seragam, kestabilan termal, mekanik, dan kimia yang baik.

Jenis membran lainnya yaitu membran organik yang dapat dibuat dari kitosan. Kitosan merupakan produk yang terbuat dari khitin, salah satu biopolimer alam di dunia. Sumber khitin paling potensial adalah kerangka luar *crustacea* seperti kepiting, lobster, udang dan serangga (Hale, 1986). Permeabilitas kitosan cukup tinggi serta sifatnya hidrofilik (Nawawi dan Hassan, 2003). Penggunaan membran kitosan untuk pengolahan limbah pewarna tekstil telah diteliti oleh Karminski dan Modrzejewska (1997). Dari penelitian tersebut diperoleh hasil yang cukup baik dimana koefisien rejeksi pemisahan yang dihasilkan membran kitosan terhadap limbah tekstil mencapai 90%. Namun, membran kitosan masih memiliki beberapa kelemahan untuk diterapkan pada unit pengolahan limbah tekstil karena membran ini mudah menyusut saat kering, kekuatan mekanik yang tidak terlalu baik (Chen *et al.*, 2004). Di sisi lain, kitosan memiliki kelebihan dapat menjadi bahan penyalut adsorben lain seperti silika, zeolit, dan arang aktif. Hal ini juga dibuktikan oleh F. Moattar dan S. Hayeripour (2006) yang menggunakan kitosan nanopartikel sebagai penyalut zeolit alam untuk menurunkan ion logam dari limbah radioaktif (Cs, Co, dan Mn) sebesar 95 %, 82%, dan 94,75%.

Pada penelitian kali ini akan dilakukan sintesis antara zeolit dan kitosan untuk mendapatkan struktur membran zeolit-kitosan

yang kompak dan menyatu. Sehingga dapat digunakan sebagai salah satu media filter pada proses pemisahan air limbah dari kontaminannya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah

1. Penentuan nilai rejeksi membran kitosan dan zeolit dengan variasi tekanan reaktor membran dan variasi perbandingan komposisi kitosan dan zeolit dalam meremoval COD dan warna pada limbah cair batik.
2. Penentuan nilai fluks membran kitosan dan zeolit dengan variasi tekanan reaktor dan variasi perbandingan komposisi kitosan dan zeolit.
3. Penentuan komposisi kitosan dan zeolit sebagai bahan pembuatan membran.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah

1. Menentukan nilai rejeksi membran kitosan dan zeolit dengan variasi tekanan reaktor membran dan variasi perbandingan komposisi kitosan dan zeolit dalam meremoval COD dan warna pada limbah cair batik.
2. Menentukan nilai fluks membran kitosan dan zeolit dengan variasi tekanan reaktor dan variasi perbandingan komposisi kitosan dan zeolit.
3. Menentukan komposisi kitosan dan zeolit sebagai bahan pembuatan membran.

1.4 Ruang Lingkup

1. Penelitian dilakukan dengan skala laboratorium di Laboratorium Pemulihan Air Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya.
2. Air limbah yang digunakan untuk penelitian ini yaitu limbah cairbatik yang berasal dari Industri Tekstil Batik Jetis, Sidoarjo.
3. Parameter air limbah yang diukur dalam penelitian ini ialah COD dan warna.

4. Membran yang digunakan berbahan baku kitosan dan zeolit dengan variabel penelitian yaitu :
5. Variasi komposisi kitosan : zeolit = 1:1 , 1:2 dan 2:1. Variasi tekanan pada reaktor membran 1 bar dan 1,5 bar.
6. Aliran dalam reaktor yang digunakan adalah aliran *cross flow*.
7. Kecepatan pengadukan 600 rpm.
8. Besarnya efektifitas membran untuk meremoval COD dan warna dinyatakan dalam % rejeksi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair Industri Tekstil Batik

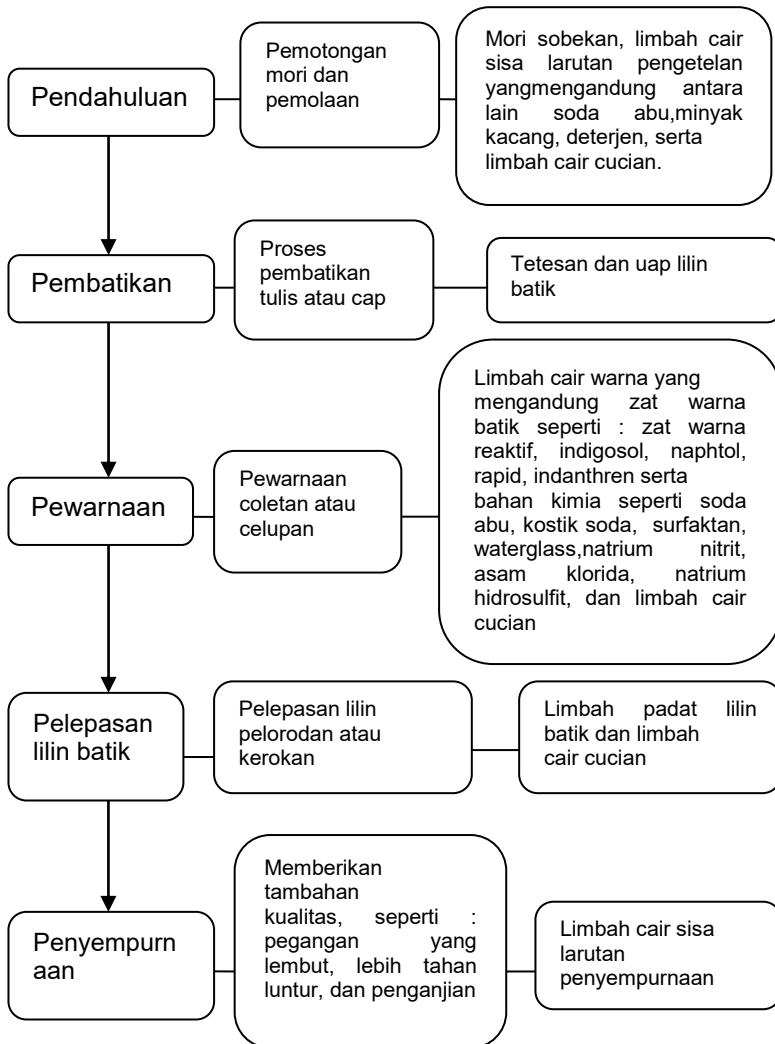
2.1.1 Sumber Limbah Cair Industri Batik

Limbah cair batik berasal dari beberapa rangkaian proses pembuatan kain batik mulai dari kain polos (mori), hingga menjadi kain batik (Purwaningsih, 2008). Proses secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.1. Bahan bahan yang digunakan untuk produksi batik meliputi kain mori batik, lilin batik, canting, kompor pemanas kecil serta zat warna dan obat-obat pembantu.

Tabel 2.1 Alat dan Bahan Produksi Batik

| No | Bahan | Keterangan |
|-----------|------------------------|--|
| 1. | Kain Mori | Bahan utama untuk membuat batik, kain ini berasal dari bahan kapas dan telah mengalami proses pemutihan dan memiliki klasifikasi khusus. |
| 2. | Malam/Lilin | Bahan penahan warna pada batik sehingga bisa memunculkan pola. |
| 3. | Zat Pewarna | Dua jenis zat pewarna yang bisa dipilih yaitu zat pewarna alami dan zat pewarna sintetis atau buatan. Pada industry batik zat warna sintetis lebih sering digunakan karena praktis, murah, dan banyak macam warna. |
| No | Alat | Keterangan |
| 1. | Canting | Berfungsi sebagai alat untuk melukis motif batik menggunakan malam. |
| 2. | Wajan dan kompor kecil | Alat ini berfungsi untuk tempat memanasi malam yang diletakkan diatas kompor |
| 3. | Gawangan | Berfungsi sebagai penyangga kain saat proses membatik dilakukan, bisa terbuat dari kayu ataupun bambu. |
| 4. | Bandul | Alat pemberat yang digunakan untuk menahan kain batik agar tidak mudah bergeser ketika sedang dilukis dengan malam. Bandul terbuat dari kayu. |

Sumber : Susilo, 2013



Gambar 2.1 Tahap Produksi Batik

Sumber : Sulaeman, 2004

2.1.2 Karakterisasi Limbah Cair Batik

Limbah tekstil secara umum memiliki karakteristik warna berkisar antara 20-2500 skala Pt-Co dan nilai COD 150-12000 mg/L. Intensitas warna yang tinggi pada air limbah tekstil disebabkan oleh 40% dari zat warna reaktif azo yang digunakan dalam proses pencelupan kain terbuang sebagai limbah (Sastrawidana *et al.*, 2004). Hasil uji karakteristik untuk limbah tekstil batik dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Karakteristik Limbah Cair Batik

| No | Parameter | Satuan | Hasil Analisa |
|----|------------------|---------------------|---------------|
| 1 | Warna | Pt-Co | 185 |
| 2 | TSS | mg/L | 855 |
| 3 | COD | mg/L | 3039.7 |
| 4 | BOD | mg/L O ₂ | 1260 |
| 5 | pH | - | 5.8 |
| 6 | Minyak dan lemak | mg/L | 60 |
| 7 | Fenol | mg/L | 0.926 |
| 8 | Amonium | mg/L | 75 |
| 9 | Cr | mg/L | 0 |
| 10 | Sisa Khlor | mg/L | - |

Sumber : Purwaningsih, 2008

2.1.3 Baku Mutu Limbah Tekstil

Setiap limbah cair pasti memiliki baku mutu supaya aman dibuang di badan air. Begitu pula limbah tekstil tercantum di Peraturan Gubernur Jatim No 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan / atau Kegiatan Usaha Lainnya dan KepMen LH No 51 MENLH No 1995 dengan rincian parameternya dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan Tabel 2.5.

Tabel 2.3 Baku Mutu Limbah Tekstil

| Parameter | Satuan | Baku Mutu KepMen LH No 51 |
|-----------|--------|---------------------------|
| BOD | Mg/L | 60 |
| COD | Mg/L | 150 |
| TSS | Mg/L | 50 |
| pH | - | 6-9 |
| Warna | Pt-Co | 50 |

2.2 Parameter Uji Air Limbah

2.2.1 Parameter COD

Limbah industri tekstil memiliki kadar warna dan COD yang cukup tinggi karena sebagian besar limbah yang dihasilkan berupa campuran dari bahan - bahan organik sebagai produk samping dari proses produksi. Pewarnaan dan pembilasan menghasilkan air limbah yang berwarna dengan COD (*Chemical Oxygen Demand*) tinggi dan bahan-bahan lain dari zat warna yang dipakai. Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik *non-biodegradable* yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama perairan. Jika industri tekstil tersebut membuang limbah cair tanpa diolah, maka aliran limbah tersebut akan melalui perairan di sekitar pemukiman, limbah tersebut dapat menaikkan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*). Jika hal ini melampaui ambang batas yang diperbolehkan, maka gejala yang paling mudah diketahui adalah matinya organisme perairan (Hadiwidodo *et al.*, 2009). Secara teoritis, *Chemical Oxygen Demand* (COD) atau kebutuhan oksigen kimia (KOK) adalah jumlah oksigen (mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 L sampel air, dimana pengoksidasi $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*). Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut didalam air. Untuk mengetahui jumlah bahan organik didalam air dapat dilakukan suatu uji yang lebih cepat dari uji BOD, yaitu berdasarkan reaksi kimia dari suatu bahan oksidan. Uji ini disebut dengan uji COD, yaitu suatu uji yang menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan oksidan, misalnya kalium dikromat, untuk mengoksidasi bahan-bahan organik yang terdapat didalam air. Banyaknya zat organik yang tidak mengalami penguraiaan biologis secara cepat berdasarkan pengujian BOD selama 5 hari, tetapi senyawa-senyawa organik tersebut juga menurunkan kualitas air. Bakteri dapat mengoksidasi zat organik menjadi CO_2 dan H_2O , kalium dikromat dapat mengoksidasi lebih banyak lagi, sehingga menghasilkan nilai COD yang lebih tinggi dari BOD

untuk air yang sama. Disamping itu bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi dalam uji COD. 96% hasil uji COD yang dilakukan selama 10 menit, kira-kira akan setara dengan hasil uji BOD selama lima hari (Muthawali, 2011).

2.2.2 Parameter Warna

Sebagian besar bahan yang terdapat dalam limbah cair batik adalah zat warna, terutama zat warna sintetik. Zat pewarna tekstil, kebanyakan menggunakan senyawa organik rantai panjang. Zat warna sintetik merupakan molekul dengan sistem elektron terdelokalisasi dan mengandung dua gugus yaitu kromofor dan auksokrom. Kromofor berfungsi sebagai penerima elektron, sedangkan auksokrom sebagai pemberi elektron yang mengatur kelarutan dan warna. Gugus kromofor yang penting yaitu gugus azo ($-N=N-$), gugus karbonil ($-C=O$), gugus etilen ($-C=C-$), dan gugus nitro ($-NO_2$). Sedangkan beberapa gugus auksokrom yang penting adalah $-NH_2$, $-COOH$, $-SO_3H$ dan $-OH$ (Ramachandran *et al.*, 2009).

Saat ini, terdapat bermacam-macam jenis zat warna sintetik yang penggunaannya disesuaikan dengan jenis serat yang akan dicelup, ketahanan warna yang dikehendaki, faktor-faktor teknis dan ekonomis lainnya. Penggolongan zat warna tekstil berdasarkan cara pencelupannya disajikan pada Tabel 2.6 dan beberapa jenis zat warna dapat dilihat pada Tabel 2.7.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

Tabel 2.4 Baku Mutu Limbah Tekstil

| Parameter | Kadar Maksimum (mg/L) | Beban Pencemaran Maksimum (kg/ton) | | | | | | | |
|--|-----------------------|-------------------------------------|--|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|---------------------|-----------------------|
| | | Tekstil Terpadu | Pencucian Kapas ,Pemintalan, Penununan | Perekatan(Sizing-Desizing) | Pengikisan, Pemasakan | Pemucatan (Bleaching) | Merserisasi | Pencelupan (Dyeing) | Pencetakan (Printing) |
| BOD5 | 60 | 6 | 0.42 | 0.6 | 1.44 | 1.08 | 0.9 | 1.2 | 0.36 |
| COD | 150 | 15 | 1.05 | 1.5 | 3.6 | 2.7 | 2.25 | 3 | 0.9 |
| TSS | 50 | 5 | 0.35 | 0.5 | 1.2 | 0.9 | 0.75 | 1 | 0.3 |
| Fenol Total | 0.5 | 0.05 | 0.004 | 0.005 | 0.012 | 0.009 | 0.008 | 0.01 | 0.003 |
| Krom Total(Cr) | 1 | 0.1 | - | - | - | - | - | 0.02 | 0.006 |
| Amonia Total (NH3-N) | 8 | 0.8 | 0.056 | 0.08 | 0.192 | 0.144 | 0.12 | 0.16 | 0.048 |
| Sulfida | 0.3 | 0.003 | 0.002 | 0.003 | 0.007 | 0.005 | 0.005 | 0.006 | 0.002 |
| Minyak dan Lemak | 3 | 0.3 | 0.021 | 0.03 | 0.07 | 0.054 | 0.045 | 0.06 | 0.018 |
| pH | 6-9 | | | | | | | | |
| Volume Limbah Maksimum (m3/ton produk) | 100 | 7 | 10 | 24 | 18 | 15 | 20 | 6 | 6 |

Sumber : Pergub Jatim No 72 Tahun 2013

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

Tabel 2.5 Zat Warna Tekstil berdasarkan Pencelupan

| No | Golongan Zat Warna | Sifat |
|-----------|---------------------------|--|
| 1. | Zat warna direct | Mempunyai daya ikat dengans serat selulosa, pencelupan dilakukan secara langsung dalam larutan dengan zat – zat tambahan yang sesuai. |
| 2. | Zat warna mordant | Mempunyai daya ikat yang lemah dengan serat. Pada proses pencelupan biasanya dilakukan dengan [penambahan krom pada zat warna sehingga membentuk kompleks logam. |
| 3. | Zat warna reactive | Mempunyai gugus reaktif yang dapat membentuk ikatan kovalen kuat dengan serat selulosa, protein, poliamida dan polyester, dilakukan pada suhu rendah dan tinggi. |
| 4. | Zat warna penguat | Mempunyai daya ikat yang kuat dengan serat selulosa, warna terbentuk dalam serat setelah ditambahkan garam penguatnya. |
| 5. | Zat warna asam | Memiliki daya ikat yang kuat dengan serat protein dan poliamida. Pencelupan dilakukan pada kondisi asam dan secara langsung ditambahkan pada serat. |

| No | Nama | Sifat |
|----|--------------------|---|
| 6. | Zat warna basa | Memiliki daya ikat yang kuat dengan serat protein. Pencelupan dilakukan pada kondisi basa dan secara langsung ditambahkan pada serat. |
| 7. | Zat warna belerang | Memiliki daya ikat yang kuat dengan serat selulosa. Pada gugus sampingnya mengandung belerang yang mampu berikatan kuat dengan serat. |

Sumber : Zille, 2005

Tabel 2.6 Jenis Zat Warna Tekstil

| Nama Warna Zat | Keterangan |
|------------------------------|---|
| Azo | Mengandung gugus azo –N=N– |
| Anthraquinones | Mengandung gugus amino dan hidroksi |
| Ftalosianin | Banyak yang dipakai untuk tinta cetak |
| Indigoid | Mengandung gugus karbonil |
| Benzodifuranones. | Sintesa lanjut dari asam arilasetat dan hydroquinone |
| Oxazinec | |
| Polimetin | |
| Di dan Tri-aril karbonium | Memiliki warna yang cerah dan kuat namun mudah luntur |
| Karbonil Aromatik Polisiklik | |
| Qunophtalonec | |
| Sulfur | Gugus sulfur sebagai jembatan penghubung |
| Nitro dan nitroso | Turunan dari o-nitrofenol atau naftol |

Sumber : Nugroho dan Ikbal, 2005

Zat warna tekstil lainnya adalah zat warna reaktif azo yang banyak digunakan karena zat warna ini dapat terikat kuat pada kain dan tidak mudah luntur. Zat warna reaktif azo disintesis untuk tidak mudah rusak oleh perlakuan kimia maupun perlakuan potolitik. Bila terbuang ke perairan dapat bertahan dalam jangka waktu yang cukup lama dan mengalami akumulasi sampai pada tingkat konsentrasi tertentu dapat menimbulkan dampak negatif terhadap daya dukung lingkungan. Zat warna reaktif azo menurut kriteria Uni Eropa untuk bahan berbahaya adalah tergolong rendah. Zat warna azo umumnya mempunyai LD₅₀ sebesar 250-200 mg/kg berat badan dan hanya sedikit yang mempunyai LD₅₀ di bawah baku mutu (Nugroho dan Ikbal, 2005).

Salah satu contoh zat warna lain yang banyak dipakai industri tekstil khususnya batik adalah remazol black, red dan golden yellow. Dalam perwarnaan, senyawa ini hanya digunakan sekitar 5% sedangkan sisanya akan dibuang sebagai limbah. Senyawa ini cukup stabil sehingga sangat sulit untuk terdegradasi di alam dan berbahaya bagi lingkungan apalagi dalam konsentrasi yang sangat besar karena dapat menaikkan COD (*Chemical Oxygen Demand*) (Suprihatin, 2014).

Senyawa zat warna di lingkungan perairan sebenarnya dapat mengalami dekomposisi secara alami oleh adanya cahaya matahari, namun reaksi ini berlangsung relatif lambat, karena intensitas cahaya UV yang sampai ke permukaan bumi relatif rendah (Suprihatin, 2014).

2.3 Membran

2.3.1 Definisi Membran

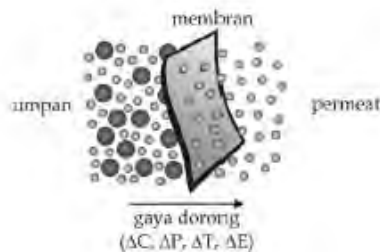
Membran berasal dari bahasa Latin “membrana” yang berarti kulit kertas. Hingga saat ini kata “membran” telah diperluas untuk menggambarkan suatu lembaran tipis fleksibel atau film, bertindak sebagai pemisah selektif antara dua fase karena bersifat semipermeabel (Wenten, 2000).

Membran merupakan selaput tipis *semipermeable* yang berupa lapisan tipis dapat memisahkan dua fase dengan cara

menahan komponen tertentu dan melewatkan komponen lainnya melalui pori-pori (Osada dan Nakagawa, 1992).

Membrane separation yaitu suatu teknik pemisahan campuran 2 (dua) atau lebih komponen tanpa menggunakan panas. Komponen-komponen akan terpisah berdasarkan ukuran dan bentuknya, dengan bantuan tekanan dan selaput *semi-permeable*. Hasil pemisahan berupa *retentate* (bagian dari campuran yang tidak melewati membran) dan *permeate* atau bagian dari campuran yang melewati membran. Berdasarkan bahan pembuatnya, membran dibedakan menjadi membran organik (membran alamiah dari selulosa dan membran sintesis) dan membran anorganik (Dewi, 2011).

Kemampuan membran untuk mentransportasikan atau memindahkan komponen lebih cepat dibandingkan dengan komponen lainnya disebabkan karena adanya gaya dorong dan perbedaan sifat kimia dan fisika antara membran dan komponen permeat. Membran merupakan media yang bersifat sebagai filter yang dapat memisahkan campuran senyawa yang terlarut dengan cara yang amat spesifik. Proses pemisahan dapat terjadi bila ada perbedaan sifat diantara senyawa yang akan dipisahkan, seperti perbedaan ukuran molekul, perbedaan interaksi antara senyawa terlarut dengan membran ataupun perbedaan fisik lainnya (Muliawati, 2012)



Gambar 2.2 Adsorpsi pada membran

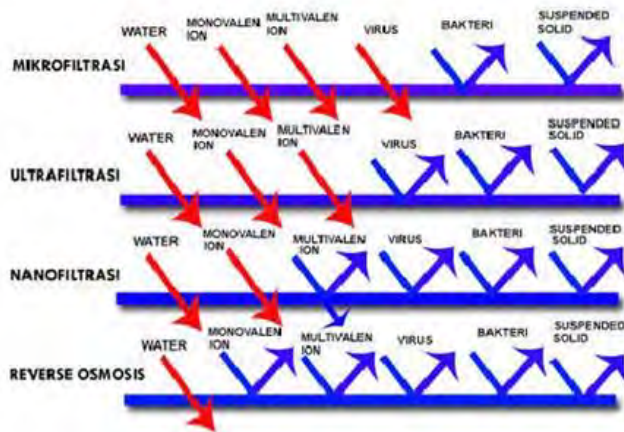
Sumber : Muliawati, 2012

2.3.2 Jenis – jenis Membran

Menurut Cui dan Muralidhara (2010), berdasarkan struktur dan prinsip pemisahan membran dapat dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu :

1. Membran berpori (pemisahan berdasarkan perbedaan ukuran partikel dengan ukuran pori membran)
2. Membran tidak berpori (pemisahan berdasarkan perbedaan kelarutan dan kemampuan berdifusi)

Membran berdasarkan fungsi dibagi 4 menurut Mulder (1996). Pembagian membran berdasarkan fungsi dapat dilihat pada Tabel 2.8.



Gambar 2.3 Proses pada Membran

Sumber : Widayanti, 2012

Tabel 2.7 Jenis Membran Berdasarkan Fungsi

| No | Jenis Membran | Ukuran Pori | Tekanan | Fluks(L/m ² .jam) | Fungsi |
|----|------------------------|-------------|---|-------------------------------|--|
| 1. | Mikrofiltrasi | 0.1-5µm | <2 bar | >50 L/m ² .jam | Memisahkan suspensi dan koloid |
| 2. | Ultrafiltrasi | 1-100nm | 1-5 bar | 10-50 L/m ² .jam | Memisahkan makromolekul |
| 3. | Nanofiltrasi | <2nm | 5-20 bar | 1,4–12 L/m ² .jam | Memisahkan komponen terlarut yang mempunyai berat molekul rendah |
| 4. | <i>Reverse Osmosis</i> | <2nm | Air payau : 15 – 25 bar Air Laut : 40 – 80 bar | 0,05-1,4 /m ² .jam | Memisahkan komponen terlarut |

Sumber : Mulder, 1996

2.3.3 Zeolit

Zeolit dibedakan menjadi 2 jenis yaitu zeolit alam dan zeolit buatan. Zeolit alam terbentuk karena proses perubahan alam (zeolitisasi) dari bahan vulkanik dan dapat digunakan secara langsung (Srihapsari, 2006). Beberapa karakteristik dan sifat yang mempengaruhi selektifitas pada zeolit yaitu struktur terbentuknya zeolit yang berpengaruh pada besarnya rongga yang terbentuk serta efek mengayak dari zeolit, mobilitas kation yang diperlukan (Poerwadio dan Masduqi, 2004).

Zeolit alam telah banyak digunakan untuk berbagai pengolahan air limbah. Zeolit memiliki karakteristik kimia dan fisika yang unik. Struktur pori zeolit alam beragam, memiliki ketahanan termal dan kekuatan mekanisme serapannya yang baik, serta tahan terhadap lingkungan kimia yang ekstrim. Struktur pori zeolit yang berbeda-beda membuat zeolit banyak digunakan untuk pemisahan berbagai molekul kecil (Shan *et al.*, 2004).

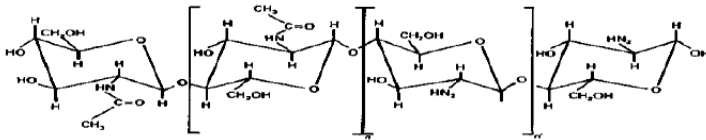
Zeolit sebagai adsorben adalah pengikatan senyawa dan molekul tertentu yang hanya terjadi di permukaan. Proses itu terjadi akibat adanya interaksi secara fisik oleh gaya *van der Waals* dan interaksi kimia dengan adanya sifat elektrostastik. Membran zeolit sebagai salah satu jenis membran anorganik, telah mendapat banyak perhatian karena menunjukkan performa yang bagus untuk pemisahan cairan atau gas yang sangat sulit (Ronaldo, 2008).

2.3.4 Kitosan

Kitosan merupakan biopolimer yang diperoleh dari deasetilasi kitin. Kitosan bersifat tidak beracun, biokompatibel, dan *biodegradable* serta kationik. Kitosan memiliki berat molekul tinggi. Pada suhu tinggi kitosan akan terdegradasi karena suhu akan memutus rantai polimer sehingga kitosan memiliki berat molekul yang lebih rendah. Kitosan adalah polimer alam yang strukturnya mirip selulosa serta dapat dibentuk menjadi film tipis (Kurniasih dan Kartika, 2011).

Kitosan merupakan polimer yang tersusun dari kopolimer dari glukosamin dan asetilglukosamin. Struktur

kitosan diilustrasikan pada Gambar 2.3. Kitosan disebut juga poli (1,4)-2-amina-2-deoksi- β -D-glukosa.



Gambar2.4 Struktur Kitosan

Sumber : Krisbergsson, 2003

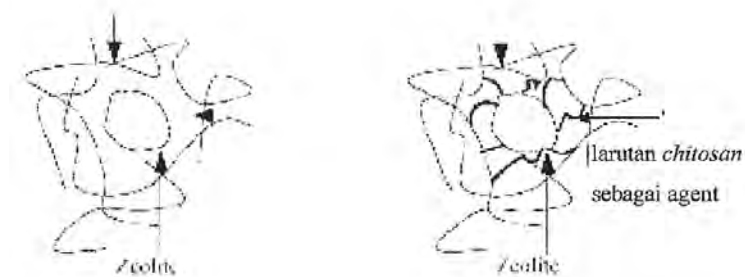
Proses utama dalam pembuatan kitosan, meliputi penghilangan protein dan kandungan mineral melalui proses deproteinasi dan demineralisasi, yang masing-masing dilakukan dengan menggunakan larutan basa dan asam. Selanjutnya, kitosan diperoleh melalui proses deasetilasi dengan cara memanaskan dalam larutan basa (Tolaimatea *et al.*, 2003).

2.4 Komposit Adsorben Zeolit dan Kitosan

Pada dasarnya zeolit dan kitosan yang dicampur merupakan elemen padat dan gel. Dua elemen ini merupakan campuran antara komponen anorganik dan organik. Pada proses pencampuran ini terjadi deformasi, yaitu pembentukan matriks polimer dari reaksi padat dan gel. Ikatan yang terbentuk antara komposit kitosan (komponen organik) dan zeolit (komponen anorganik) adalah ikatan kovalen pada permukaan zeolit (Yuan *et al.*, 2007).

Sebelumnya kitosan telah digunakan dan dikombinasikan dengan beberapa partikel seperti zeolit, silica, zirconia sebagai adsorben. Zeolit menjadi pilihan utama karena memiliki diameter pori-pori (A°) yang banyak, biaya murah dan sangat mudah (fleksibel) untuk dirubah konfigurasi dan molekulnya dengan berbagai aktivasi (panas, asam, basa). Zeolit akan bersifat lebih aktif apabila pada permukaan dan pori – pori zeolit terdapat suatu senyawa yang berfungsi sebagai *agent*. Penambahan larutan kitosan diharapkan mampu berperan sebagai *agent* yang mampu mempercepat proses adsorpsi dan katalisis. Mekanisme

penambahan larutan kitosan sebagai *agent* pada zeolit dapat dilihat pada Gambar 2.4.

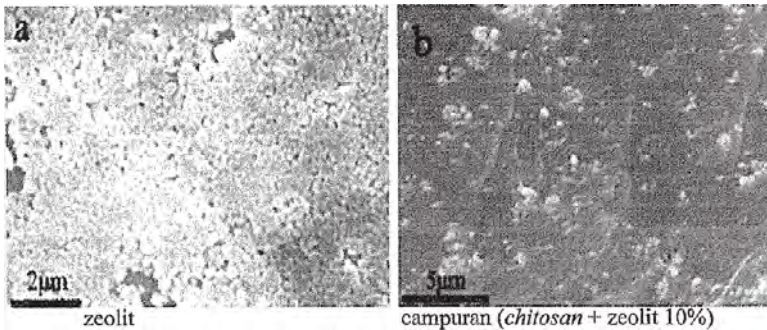


Gambar 2.5 Mekanisme Penambahan Larutan Kitosan pada Zeolit

Sumber : Ronaldo, 2008

Wu *et al.*, (2007) menyatakan bahwa terjadi ikatan silang antara gugus – gugus fungsi yang ada pada zeolit dan kitosan pada proses pencampuran antara keduanya. Zeolit yang sudah memiliki gugus organosilane (Si-OH) pada permukaan zeolit membuat zeolit lebih aktif dan mampu berikatan dengan gugus OH⁻ dan NH⁻ pada kitosan. Prosesnya yaitu saat zeolit akan tercampur dengan larutan kitosan maka akan terjadi ikatan hidrogen dengan polimer kitosan atau terjadi interaksi ionik asam basa yang dibentuk oleh gugus OH⁻ dan NH⁻ pada kitosan.

Berdasarkan analisis SEM dari kitosan dan komposit zeolit dan kitosan terlihat bahwa pada zeolit murni, struktur permukaan kitosan lebih longgar, tidak kompak dan masih banyak ruang kosong (pori-pori). Pada analisis SEM setelah dicampur kitosan – zeolit, struktur permukaan terlihat lebih padat dan lebih kompak. Ini artinya pencampuran antara polimer organik (kitosan) sebagai pengisi (*filler*) pada zeolit berlangsung baik (Yuan *et al.*, 2007 dan Wang *et al.*, 2008). Peningkatan persentase adsorpsi berbanding lurus dengan konsentrasi *chitosan* dikarenakan adsorben akan memiliki agent yang menempel pada pori-pori zeolit yang semakin banyak, karena *chitosan* memiliki ukuran pori yang lebih kecil dan banyak tetapi memiliki massa yang kecil, sehingga makin banyak *chitosan* maka luas permukaan permukaan penyerapan semakin besar. Gambar SEM komposit zeolit dan kitosan dapat dilihat pada Gambar 2.5.

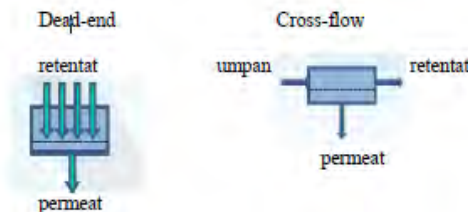


Gambar 2.6 SEM Komposit Zeolit dan Kitosan

Sumber : Ronaldo, 2008

2.5 Aliran Cross Flow pada Reaktor

Dalam operasi membran dikenal dua jenis aliran umpan, yaitu aliran *cross-flow* dan aliran *dead-end*. Pada sistem *cross-flow*, aliran umpan mengalir melalui suatu membran, dengan hanya sebagian saja yang melewati pori membran untuk memproduksi permeat, sedangkan aliran pelarut atau cairan pembawa akan melewati permukaan membran sehingga larutan, koloid dan padatan tersuspensi yang tertahan oleh membran akan terus terbawa menjadi aliran balik. Sedangkan pada sistem *dead-end*, keseluruhan dari fluida melewati membran (sebagai media filter) dan partikel tertahan pada membran, dengan demikian fluida umpan mengalir melalui tahanan membran dan tahanan penumpukan partikel pada permukaan membran (Mallack *et al.*, 1997).



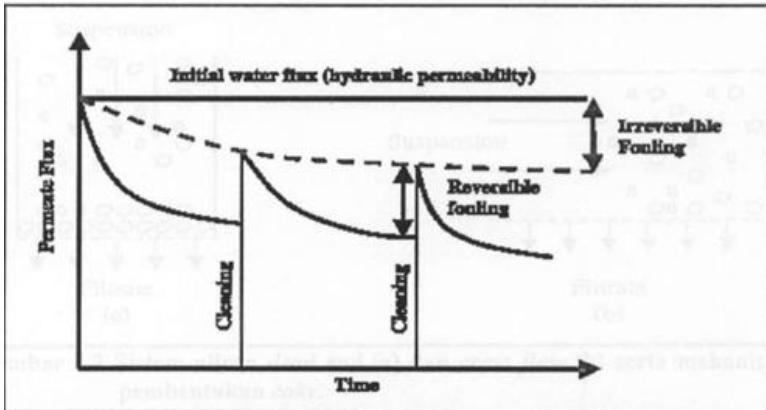
(a) Aliran Dead End (b) Alirann Cross – Flow

Gambar 2.7 Aliran Dead End dan Cross Flow

Sumber : Mallack *et al.*, 1997

2.6 Pencucian Membran

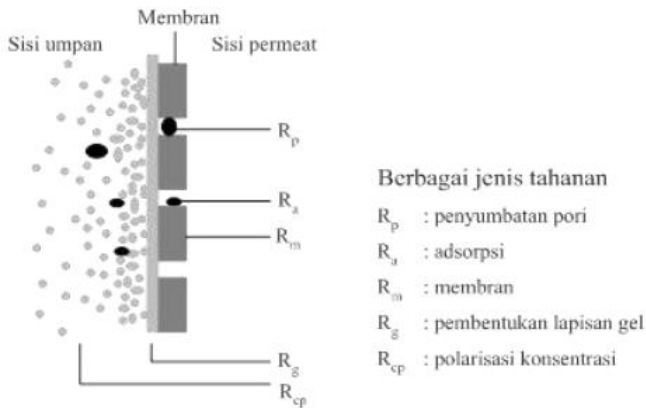
Fouling dapat didefinisikan sebagai proses terbentuknya lapisan oleh material yang tidak diinginkan pada permukaan membran. Fouling dapat menyebabkan penurunan fluks, baik secara irreversibel maupun reversibel. Material penyebab fouling disebut *foulant*. Membran *fouling* mengakibatkan penurunan secara substansial terhadap kondisi awal hidraulik permeabilitas membran. Penurunan permeabilitas *reversibel* disebabkan adanya partikel koloid terdeposit pada permukaan dan pori membran. Sedangkan penurunan permeabilitas *irreversibel* (*Irreversible fouling*) disebabkan oleh adanya partikel secara kimia fisik berikatankuat terhadap permukaan membran maupun pori. *Reversible fouling* dan *irreversible fouling* tertera pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Fouling Reversibel dan Irreversibel

Sumber : Faibish dan Cohen, 2001

Foulant ini dapat berupa endapan organik (makromolekul, substansi biologi), endapan anorganik (logam hidroksida, garam kalsium) dan partikulat. *Foulant* akan terakumulasi pada permukaan membran karena tidak ikut ambil bagian dalam transfer massa. Akibatnya *foulant* ini akan mengurangi efektivitas dan fluks membran.

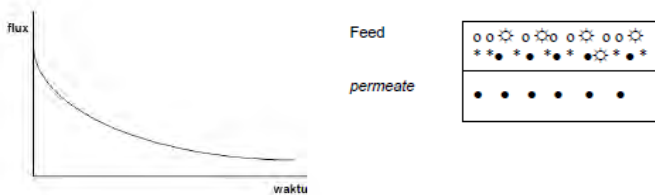


Gambar 2.9 Proses Filtrasi Membran

Sumber : Wenten, 2000

Berbagai cara telah dilakukan untuk menghindari terjadinya fouling membran. Prefilter atau *screen* digunakan untuk memisahkan partikel berukuran besar yang dapat menutupi permukaan membran. Tingginya kecepatan *cross flow* dapat menyapu *foulant* yang berada di permukaan membran. Tekanan yang rendah menghindari pemadatan gel di permukaan membran. Beberapa polimer dan bahan kimia memiliki kepekaan yang tinggi sebagai penyebab terjadinya fouling (Rifaid, 2002)

Dampak langsung yang dapat diamati dan cukup signifikan yang menandai terjadinya *fouling* ini adalah menurunnya kinerja membran (fluks permeat menurun seiring waktu).



Gambar 2.10 Fluks sebagai Fungsi dari Waktu

Sumber : Rifaid, 2002

Keterangan :

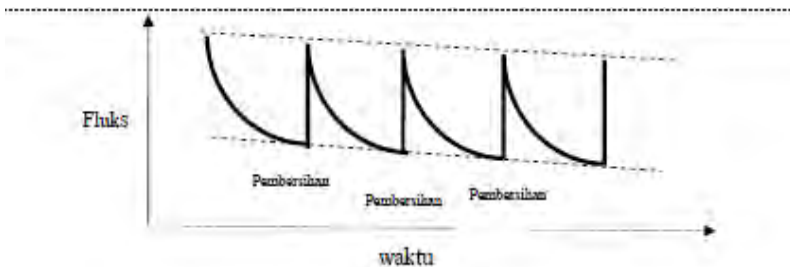
• = solven

☼ = solute (berat molekul tinggi)

* = solute (berat molekul tinggi)

o = partikel

Fouling pada membran adalah sesuatu yang tidak bisa dihindari tetapi dapat diprediksi dan dikurangi keparahannya. Keadaan yang lebih buruk pada kinerja membran tergantung dari tipe membran, sistem desain dan kualitas umpan. Perubahan fluks *permeate* yang melalui membran dengan adanya pembersihan (*cleaning*) membran dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Perubahan fluks membran yang dilalui aliran *permeate* dengan adanya pembersihan (*cleaning*) *fouling* yang terjadi pada membran

Sumber : Rifaid, 2002

Dari gambar diatas terlihat bahwa terjadinya *fouling* akan menurunkan aliran *permeate*, sehingga harus ditingkatkan tekanan umpan untuk menjaga kontinuitas aliran. Oleh karena itu tekanan dan aliran *permeate* harus dimonitor dan parameter kritis harus dijaga sesuai dengan spesifikasi operasi. Selain itu membran harus segera dibersihkan ketika terjadi penurunan 10%-15% pada kinerja membran, untuk mencegah terjadinya *fouling* yang lebih parah yang sulit dibersihkan.

Menurut Milisic (1996), untuk mengurangi penumpukan materi pada permukaan membran, ada dua cara yang dapat diambil.

- a. Menjaga partikel mengenai membran, atau
- b. Membersihkan membran tersebut

Untuk menjaga partikel mengenai membran, ada beberapa teknik yang digunakan seperti proses filtrasi, proses koagulasi dimana upaya-upaya tersebut lazim disebut sebagai pretreatment. Sedangkan untuk membersihkan membran dapat digunakan pembersihan membran secara periodik, atau meningkatkan tegangan geser (*shear stress*) pada permukaan membran dimana konstituen yang telah tertahan (*fouling*) akan tergeser oleh turbulensi aliran sehingga tidak terjadi penumpukan partikel.

Tabel 2.8 Jenis Larutan Kimia Pencuci Membran

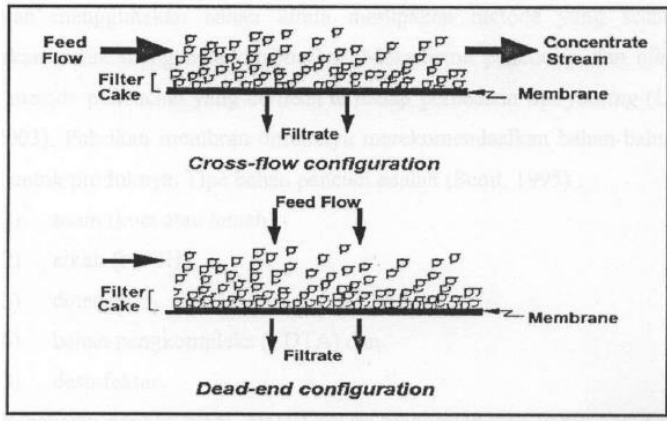
| No | Jenis Foulant | Larutan Kimia Pencuci |
|----|----------------|--|
| 1 | Koloid | Larutan NaOH, chelating agent dan surfaktan |
| 2 | Organik | Larutan NaOH, chelating agent dan surfaktan |
| 3 | Oksida Logam | Asam sitrat (pH rendah) |
| 4 | Scale Karbonat | Asam sitrat atau HCl |
| 5 | Biofilm | Larutan NaOH, chelating agent, surfaktan dan disinfektan |

Sumber : Fritzmann, 2007

Menurut Herman (2013), proses terjadinya fouling meliputi tahapan tahapan yaitu

- Peningkatan konsentrasi dari suatu solut pada permukaan membran.
- Perpindahan solut dari permukaan membran ke dalam material membran, dalam hal ini pori-pori membran, hingga antara solut yang satu dengan yang lain benar-benar teradsorpsi atau melewati langkah desorpsi atau adsorpsi yang reversibel pada pori-pori membran.

- Adsorpsi solut pada pori membran sehingga terjadi pemblokiran ataupun penyempitan ukuran pori membran. Sistem aliran *dead end* (a) dan *cross flow* (b) serta mekanisme pembentukan *cake* dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Filter pada Membran

Sumber :Herman, 2013

2.7 Karakterisasi Membran

Menurut Cui dan Muralidhara (2010), seperti proses pemisahan yang lain, pemisahan dengan membran juga bisa dievaluasi dengan dua parameter penting yaitu efisiensi dan produktivitas. Produktivitas bisa dikarakterisasi dengan parameter fluks, dan efisiensi membran dapat dikarakterisasi dengan parameter rejeksi.

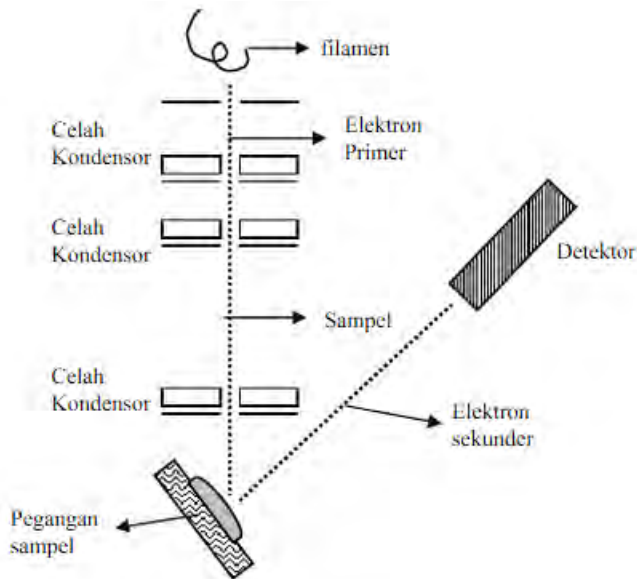
2.7.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM (*Scanning Elektron Microscope*) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis.

Prinsip kerja dari SEM ini adalah dengan menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas elektron yang dipantulkan dengan energi tinggi. Permukaan material yang disinari atau terkena berkas elektron akan memantulkan kembali berkas elektron atau dinamakan berkas elektron sekunder ke segala arah.

Tetapi dari semua berkas elektron yang dipantulkan terdapat satu berkas elektron yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detektor yang terdapat di dalam SEM akan mendeteksi berkas elektron berintensitas tertinggi yang dipantulkan oleh benda atau material yang dianalisis. Selain itu juga dapat menentukan lokasi berkas elektron yang berintensitas tertinggi itu. Ketika dilakukan pengamatan terhadap material, lokasi permukaan benda yang ditembak dengan berkas elektron yang berintensitas tertinggi di scan keseluruhan permukaan material pengamatan. Karena luasnya daerah pengamatan kita dapat membatasi lokasi pengamatan yang kita lakukan dengan melakukan *zoom – in* atau *zoom – out*. Dengan memanfaatkan berkas pantulan dari benda tersebut maka informasi dapat di ketahui dengan menggunakan program pengolahan citra yang terdapat dalam computer (Widayanti, 2013).

SEM (*Scanning Elektron Microscope*) memiliki resolusi yang lebih tinggi dari pada mikroskop optik. Hal ini disebabkan oleh panjang gelombang *de Broglie* yang memiliki elektron lebih pendek dari pada gelombang optik. Karena makin kecil panjang gelombang yang digunakan maka makin tinggi resolusi mikroskop. SEM mempunyai *depth of field* yang besar, yang dapat memfokuskan jumlah sampel yang lebih banyak pada satu waktu dan menghasilkan bayangan yang baik dari sampel tiga dimensi (Widayanti, 2013).



Gambar 2.13 Skema Kerja SEM

Sumber : Mulder (1996)

2.7.2 Permeabilitas Membran

Permeabilitas suatu membran merupakan ukuran kecepatan dari suatu spesi atau konstituen menembus membran. Secara kuantitas, permeabilitas membran sering dinyatakan sebagai fluks atau koefisien permeabilitas.

Definisi dari fluks adalah jumlah volume permeat yang melewati satuan luas membran dalam waktu tertentu dengan adanya gaya dorong dalam hal ini berupa tekanan.

Menurut Mulder (1996), secara umum fluks dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$J = \frac{V}{Axt} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

- J = Fluks (Lt/m².jam)
- V = Volume permeat (Lt)
- A = Luas permukaan membran
- t = Waktu (jam)

Laju fluks akan menurun sejalan dengan waktu pengoperasian akibat pengendapan atau pelekatan material dipermukaan membran, yang dikenal dengan istilah *fouling* dan *scaling* (Yunarsih, 2013).

2.7.3 Permelektivitas Membran

Menurut Mulder (1996), selektivitas suatu membran adalah ukuran kemampuan suatu membran untuk menahan suatu spesi atau melewatkan suatu spesi tertentu. Selektivitas membran tergantung pada interaksi antar muka dengan spesi yang akan melewatinya, ukuran spesi dan ukuran pori permukaan membran. Parameter yang digunakan untuk menggambarkan permelektivitas membran adalah koefisien rejeksi (R). Menurut Cui dan Muralidhara (2010), koefisien rejeksi adalah fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran, dan dirumuskan sebagai berikut :

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana :

R = Koefisien rejeksi (%)

C_p = Konsentrasi zat terlarut dalam permeat

C_f = Konsentrasi zat terlarut dalam umpan

Harga R berkisar antara 0 sampai 1. Jika harga R = 1 berarti zat kontaminan ditahan oleh membran secara sempurna (Yunarsih, 2013)

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian Dimiyadi dkk (2014), mengenai alat pemurni minyak atsiri daun cengkeh yang dibuat memakai prinsip tekanan udara. Kemudian tekanan udara masuk ke tabung filtrasi yang berisi membran kitosan-selulosa, lalu permeat yang berupa minyak akan keluar dari lubang keluaran permeat sedangkan konsentrat yang berupa kotoran akan keluar dari kran pembuangan konsentrat. Nilai fluks pada tekanan 0.5 bar 0.185 L/m².sec, tekanan 1 bar 0.213 L/m².sec, tekanan 1.5 bar 0.239 L/m².sec, tekanan 2 bar 0.197 L/m².sec; tekanan 2.5 bar 0.155 L/m².sec. Penurunan nilai fluks yang didapatkan terjadi karena proses *fouling* pada saat pengujian.

Penelitian antara campuran kitosan dan zeolit (Ronaldo, 2008), adalah penelitian mengenai komposit zeolit dan kitosan sebagai adsorben *Catalytic Converter Monolithic* untuk pereduksi emisi gas buang kendaraan bermotor. Tujuannya adalah pengujian adsorben zeolit- kitosan yang terbaik untuk mereduksi emisi gas buang karbonmonoksida (CO), nitrogen oksida (NOx), hidrokarbon (HC), dan timbal (Pb). Hasil penelitian menunjukkan bahwa, adsorpsi gas karbonmonoksida (CO) paling besar pada perlakuan A5B5 dengan komposisi adsorben 80 gram zeolit dan 20 gram larutankitosan sebesar $51,336 \times 2,192 \%$. Adsorpsi gas hidrokarbon(HC) paling besar pada perlakuan A5B5 sebesar $46,890 \times 1,387 \%$. Adsorpsi gas nitrogen oksida (NOx) paling besar pada perlakuan A4B4 dengan komposisi adsorben 85 gram zeolit dan 15 gram larutan kitosan sebesar $43,278 \times 0,407 \%$, adsorpsi timbal (Pb) paling besar pada perlakuan A5B5 sebesar $59,120 \times 0,095 \%$. Secara umum adsorben dengan komposisi zeolit 80 gram dan 20 gramkitosan (A5B5) merupakan adsorben terbaik, karena mampu mereduksi emisi gas buang paling besar.

Penelitian lainnya mengenai pengaruh variasi komposisi membran kitosan-silika untuk dekolorisasi zat warna *Congo Red* (Prameswari, 2013) bahwa sintesismembran dilakukan dengan variasi perbandingan volume kitosan dengan larutannatrium silikat yaitu 1:0; 1:0,5; 1:1; 1:1,5; 1:2 dengan masing masing fluks yang dihasilkan 29,83 L/m².jam, 33,55 L/m².jam, 36,91 L/m².jam, 68,82 L/m².jam, 77,82 L/m².jam. Hasil rejeksinya masing – masing 65,13 %, 67,05%, 68,59 %, 72,05%, 75%.

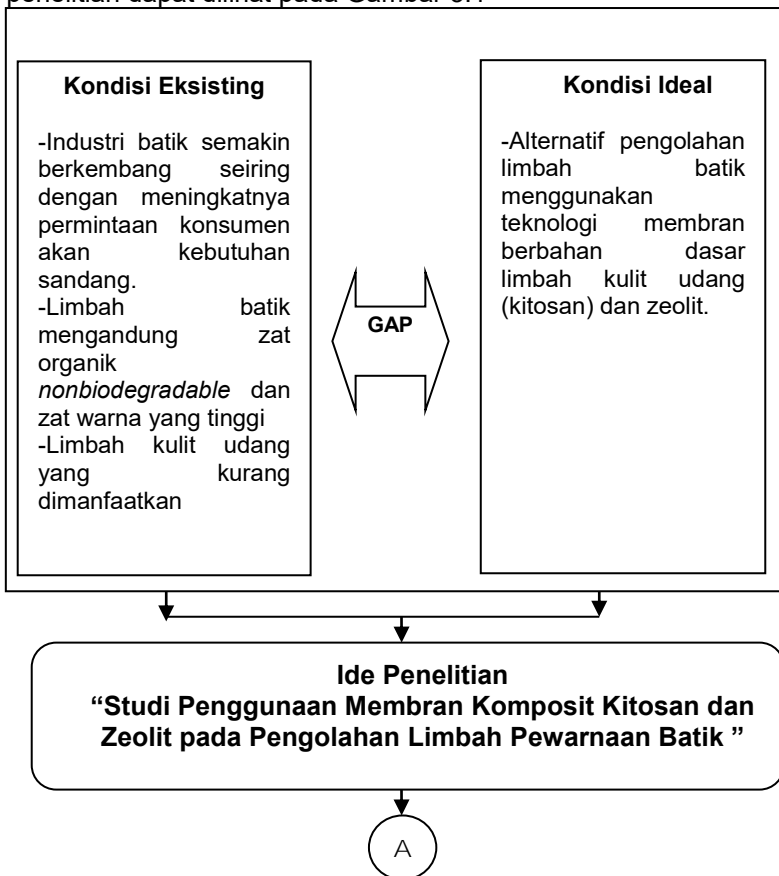
“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

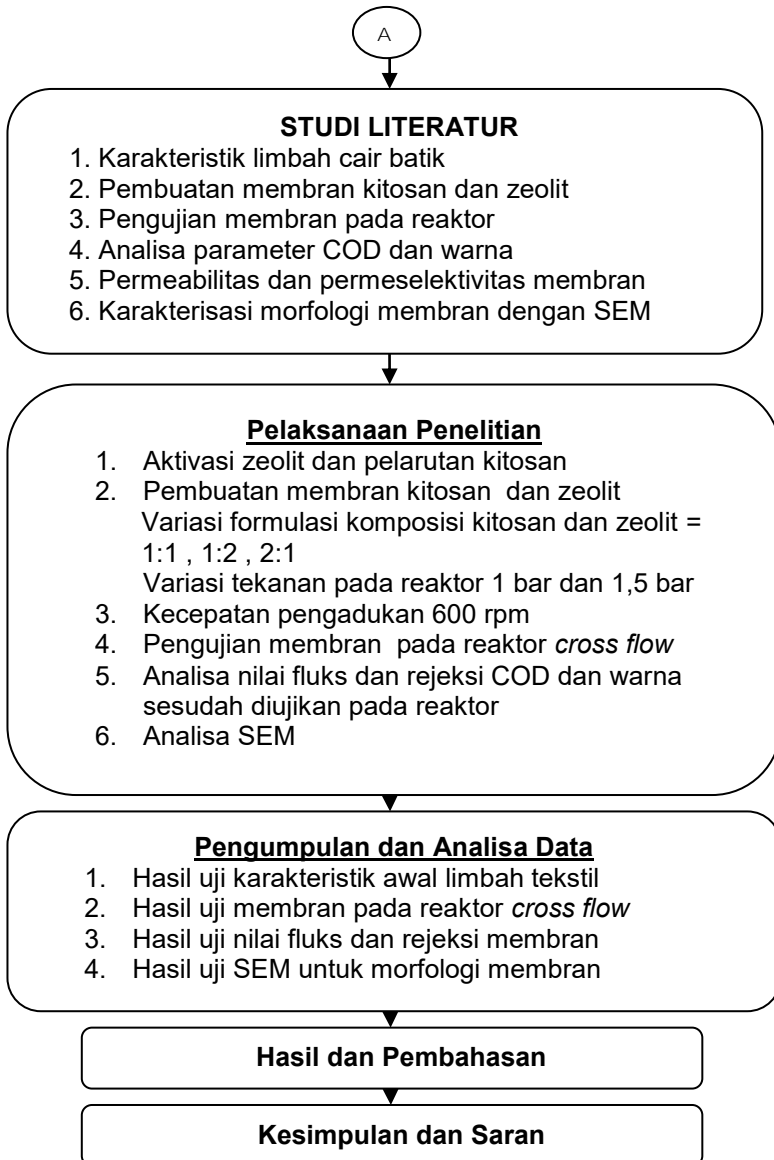
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Alur Penelitian

Kerangka pelaksanaan penelitian merupakan dasar dan alur pemikiran yang digunakan untuk melaksanakan tahapan penelitian. Kerangka pelaksanaan penelitian dibuat dalam bentuk gambaran visual tahapan penelitian untuk mempermudah peneliti dalam melaksanakan penelitian. Selain itu, kerangka penelitian dapat meminimisasi kesalahan dalam penelitian. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1





Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.2 Ide Penelitian

Ide penelitian tugas akhir ini diangkat dari semakin meningkatnya produksi sandang di Indonesia terutama batik karena permintaan konsumen yang melonjak. Hal ini menyebabkan semakin berkembang pula industri batik di Indonesia dimana di sisi lain limbah yang dihasilkan pun semakin bertambah. Limbah tekstil mengandung zat organik *non biodegradable* yang tinggi yang berasal dari proses pewarnaannya. Apabila limbah cair batik dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan yang tepat akan mencemari badan air yang berakibat pada masyarakat juga. Teknologi pengolahan limbah yang murah dan efektif semakin diminati. Salah satunya adalah teknologi membran. Disamping itu terdapat limbah kulit udang yang kurang dimanfaatkan padahal berdasarkan beberapa literatur memiliki kegunaan untuk mengolah limbah. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih dalam mengenai kebermanfaatan limbah kulit udang sebagai bahan baku pembuatan membran untuk mengolah limbah pewarnaan batik.

3.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dari tahap awal penelitian hingga penarikan kesimpulan untuk memperoleh teori memadai yang menunjang pelaksanaan penelitian. Literatur yang digunakan meliputi karakteristik limbah tekstil, definisi dan jenis-jenis membran, karakteristik kitosan dan zeolit, pembuatan membran kitosan dan zeolit, permeabilitas membran, permselektivitas membran, pengujian kinerja membran dengan reaktor *cross flow*. Studi literatur berasal dari bahan-bahan penunjang seperti buku teks, jurnal nasional dan internasional, artikel dan sebagainya. Studi literatur diharapkan dapat menjadi dasar yang membantu pengerjaan tugas akhir ini.

3.4 Variasi Penelitian

Variasi penelitian untuk filtrasi limbah cair batik dengan menggunakan membran kitosan dan zeolit disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variasi Penelitian

| No | Perbandingan Komposisi Kitosan: Zeolit |
|----|---|
| 1. | Kitosan dan Zeolit 1:1 ⁽¹⁾ dengan tekanan 1 bar ⁽²⁾ dan 1,5 bar ⁽²⁾ |
| 2 | Kitosan dan Zeolit 1:2 ⁽¹⁾ dengan tekanan 1 bar ⁽²⁾ dan 1,5 bar ⁽²⁾ |
| 3. | Kitosan dan Zeolit 1:1 ⁽¹⁾ dengan tekanan 1 bar ⁽²⁾ dan 1,5 bar ⁽²⁾ |

Sumber : (1) Prameswari, 2014
 (2) Dimiyadi dkk, 2014

3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Pengambilan dan Pengawetan Sampel

Limbah cair batik yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari industri batik di daerah Jetis, Sidoarjo. Pengambilan sampel limbah dilakukan dengan menampung limbah cair batik pada jerigen 30 L. Pengawetan limbah dilakukan dengan pendinginan hingga suhu 4°C.

Pada limbah cair batik perlu dilakukan pendinginan terlebih dahulu sebelum di running agar zat lilin atau malam yang terkandung bisa mengapung dan menggumpal.

3.5.2 Persiapan Zeolit

Langkah awal menyiapkan pasir zeoli yang dihaluskan menggunakan *ball milling*. Zeolit yang telah halus kemudian diayak hingga didapat zeolit 200 mesh. Permeabilitas zeolit tertinggi berada pada ukuran 200 mesh (Nugroho dan Alia, 2016).



Gambar 3.2 Zeolit hasil ayakan

Zeolit yang digunakan berasal dari zeolit alam. Biasanya zeolit alam masih mengandung banyak pengotor. Keberadaan pengotor ini dapat menurunkan aktivitas dari zeolit. Oleh sebab itu perlu dilakukan aktivasi zeolit. Selain itu, aktivasi zeolit juga bertujuan untuk memodifikasi sifat sifat dari zeolit, seperti luas permukaan butiran dan keasamannya (Yuanita, 2010). Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan secara kimia maupun fisika. Aktivasi secara fisika dilakukan melalui pengecilan ukuran butir dengan alat seperti ball milling atau pengayakan, dan pemanasan pada suhu tinggi. Aktivasi secara fisika bertujuan untuk memperbesar pori, dan memperluas permukaan. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pengasaman. Pengasaman ini akan menyebabkan terjadinya pertukaran kation dengan H^+ (Ertan, 2005).

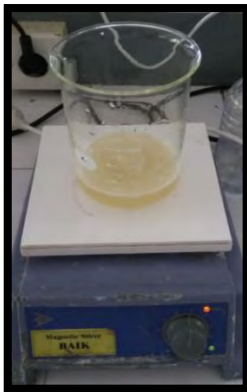
Pasir zeolit kemudian direndam pada larutan HCL selama 24 jam. Pasir zeolit berwarna toska keabu - abuan. Perendaman zeolit selama 24 jam bertujuan untuk menghilangkan pengotor serta menghilangkan atom Si di luar kerangka struktur zeolit. Perendaman dengan HCl ini dapat melarutkan pengotor baik organik maupun anorganik yang bersifat menutupi pori, sehingga pori-pori zeolit menjadi terbuka dan permukaannya semakin luas. Proses perendaman dengan HCl membuat zeolit bersifat asam dan mengandung ion Cl^- , ion Cl^- akan keluar bersama dengan aluminium membentuk $AlCl_3$ (Septiani, 2013). Berkurangnya kandungan aluminium dalam kerangka zeolit, berarti menaikkan rasio Si/Al dalam kerangka zeolit sehingga meningkatkan stabilitas termal, dan selektivitas dari zeolit (Handoko, 2006).

Zeolit yang telah direndam HCL kemudian dibilas dengan aquades. Sisa-sisa ion Cl^- yang masih terdapat dalam zeolit harus dinetralkan dengan pencucian aquades (Septiani, 2013). Proses selanjutnya adalah mengeringkan zeolit dengan mengoven selama 24 jam dengan suhu $90^{\circ}C$. Proses ini bertujuan untuk mengurangi kadar air sehingga zeolit kembali menjadi bubuk pasir. Pemanasan dengan suhu $90^{\circ}C$ yang dilakukan pada tahap ini juga bertujuan menghilangkan ion Cl^- yang tersisa ketika pencucian (Irvantino, 2013).

3.5.3 Pembuatan Larutan Membran

Bahan baku pembuatan membran selain zeolit adalah kitosan. Serbuk kitosan dilarutkan terlebih dahulu dalam 100 mL asam asetat 1%. Keterlarutan kitosan yang paling baik ialah dalam asam asetat 1%, asam format 10% dan asam sitrat 10% (Kusumawati dan Tania, 2012).

Zeolit yang telah diaktivasi di stirrer dalam larutan NH_4Cl 100 mL. NH_4Cl berfungsi untuk menghilangkan mikroba (Sari, 2014). Penambahan NH_4Cl juga bertujuan untuk menggantikan kation-kation penyeimbang dalam zeolit seperti Na^+ , Ca^{2+} , dan NH_4^+ (Septiani, 2013). Kemudian NH_4Cl dibuang dan diambil endapan zeolit. Endapan zeolit ditambahkan ke dalam larutan kitosan 5%. Campuran ini diaduk dengan stirrer sambil disonikasi menggunakan alat ultrasonik dengan frekuensi 10.000 Hz. Sonikasi ini bertujuan untuk menghomogenkan campuran kitosan dan zeolit.



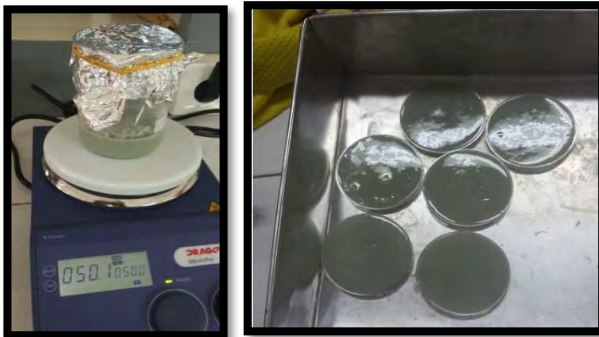
Gambar 3.3 Larutan kitosan

Menurut Handayani (2009), sonikasi akan menghasilkan membran dengan homogenitas yang lebih baik. Kedua bahan distirrer dan ditambahkan *Poly Vinyl Alcohol* (PVA) sebanyak 50 mL dan *Poly Ethylen Glykol* (PEG) sebanyak 25 mL. Bubuk PVA sebelumnya sudah dilarutkan sebanyak 40 gr dalam 200 mL aquades yang mendidih sambil diaduk. PVA berfungsi untuk merekatkan antar kristal zeolit dan kitosan menjadi membran yang padat.

Penambahan PVA dalam jumlah tertentu dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan memperbaiki struktur dari membran sendiri serta mampu membuat membran lebih stabil (Farha dan Kusumawati, 2012). Membran akan semakin tebal apabila konsentrasi PVA semakin tinggi (Nisa, 2005). Sedangkan PEG berfungsi sebagai porogen (Sari, 2014). Porositas membran dapat ditingkatkan dengan menambah jumlah PEG pada larutan membran sehingga fluks yang dihasilkan akan turut meningkat juga (Farha dan Kusumawati, 2012). Proses selanjutnya adalah memanaskan larutan membran dengan *hot plate stirrer* pada suhu 50^o dan kecepatan adukan 300 rpm. Larutan membran yang telah jadi dicetak dan dikeringkan selama 24 jam.

Membran yang terbentuk mempunyai ciri ciri yaitu

- a. Keras dan padat
- b. Tekstur membran halus dan kering
- c. Diameter membran 5 cm



Gambar 3.4 Larutan membran (a) dan Membran dicetak (b)

Teknik pembuatan membran dengan cara komposit dilakukan dengan cara mencampurkan suatu lapisan polimer tertentu di atas suatu lapisan lain yang berpori dari jenis polimer yang lain. Salah satu material digunakan sebagai bahan untuk membentuk membran berpori sedangkan material yang lain digunakan sebagai lapisan atas, yaitu lapisan aktif dengan ukuran pori yang berukuran lebih rapat (Pratomo, 2003). Bahan pembentuk membran berpori disini

adalah zeolit sedangkan lapisan aktif yang lebih rapat porinya adalah kitosan. Tahap pembuatan membran dapat dilihat pada lampiran A.



Gambar 3.5 Membran setelah jadi

3.6 Sistem Membran pada Reaktor *Cross Flow*

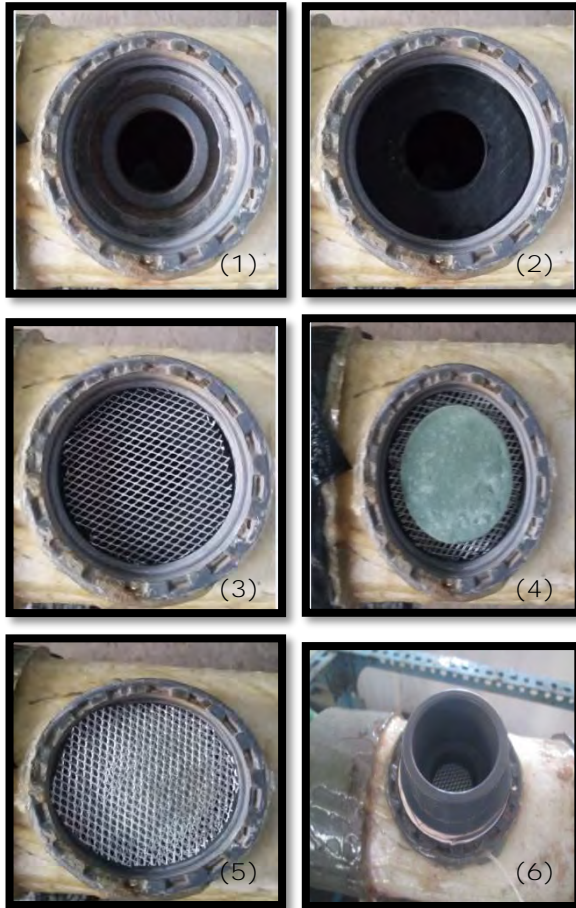
Membran kitosan-zeolit yang telah kering diujikan pada reaktor cross flow yang telah disiapkan. Membran berukuran diameter 5 cm. Membran dipasang pada bagian tengah pipa dan diberi penahan berupa karet serta kawat kasa kemudian ditutup dengan *water mur*. Reaktor membran dijalankan selama 80 menit (Sari, 2015).

Limbah yang akan difiltrasi adalah limbah cair batik. Hasil filtrasi limbah yang ditampung (*permeate*) akan dianalisa nilai COD dan warnanya. Permeate diambil setiap 5 menit. Reaktor yang akan digunakan terdiri dari *pressure gauge*, pipa, pompa booster, bak penampung, dan valve.

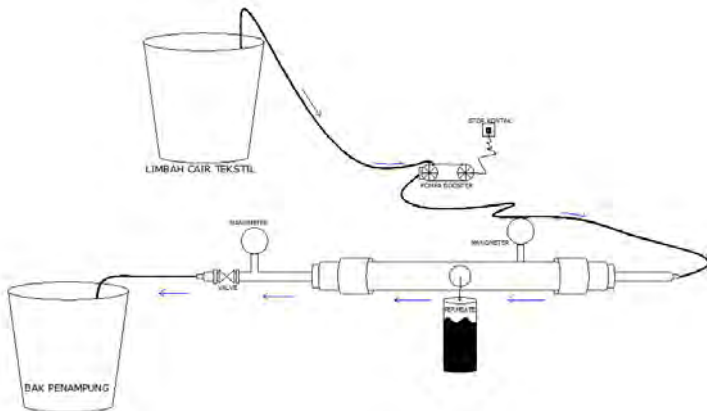
Langkah pertama adalah menjalankan reaktor dengan air PDAM. Langkah ini bertujuan supaya pori – pori membran bisa bekerja efektif. Selain itu *sebagai start up* awal untuk mengatur tekanan reaktor. Running awal dengan air PDAM dilakukan selama ± 1 jam.

Langkah selanjutnya ialah menjalankan reaktor dengan air limbah batik. Limbah cair batik ditampung dalam bak penampung. Reaktor mengalirkan limbah secara sejajar dengan membran. Limbah cair yang melewati membran dan lolos merupakan permeate yang diuji nilai COD dan warnanya serta diukur jumlah volume tertampung. Permeate ditampung pada wadah. Air limbah

yang tidak lolos tersaring membran (*rentetate*) akan dialirkan balik melewati valve *by pass* menuju bak tampungan.



Gambar 3.6 Peletakan Membran pada Reaktor *Cross Flow*, (1) Tempat keluar permeat, (2) Karet, (3) Kawat kasa (4) Membran Kitosan-Zeolit, (5) Kawat kasa, (6) Water mur



Gambar 3.7 Skema Reaktor *Cross Flow*



Gambar 3.8 Reaktor *Cross Flow*

Keterangan :

1. Bak penampung
2. Pompa booster
3. Pressure gauge

4. Valve
5. Output *permeate*

Membran yang telah digunakan untuk filtrasi limbah pada bagian tengah dengan diameter 4 cm saja yang terkena filtrasi. Secara visual dapat dilihat bahwa terjadi perubahan warna dari merah menjadi kekuningan karena pada bagian tengah permukaan membran terdapat sisa padatan dan material yang tersaring berwarna merah.



Gambar 3.9 Membran setelah Filtrasi

3.7 Analisa Sampel

Pengamatan dan analisa pada permeat dilakukan pada dua titik yang berbeda. Pengamatan pertama adalah analisa awal air limbah batik sebelum diaplikasikan pada membran kitosan dan zeolit. Pengambilan kedua adalah analisa setelah diaplikasikan pada membran komposit kitosan dan zeolit. Sampel permeat hasil filtrasi kemudian di uji kandungan COD dan warnanya. Analisa COD menggunakan metode *Closed Reflux Titimetric* dan analisa warna menggunakan metode spektrofotometri. Langkah uji COD dan uji warna limbah dapat dilihat pada Lampiran B dan C.

Permeat yang ditampung dalam jangka waktu 5 menit dari menit awal hingga menit ke-80 dianalisa kadar COD dan warnanya untuk menghitung removalnya. Morfologi dari membran sendiri dilakukan pengujian dengan uji SEM sebelum dan sesudah pengaplikasian pada limbah cair batik.



Gambar 3.10 Permeat Hasil Filtrasi

Sampel membran yang akan diperiksa morfologinya dengan SEM dikeringkan terlebih dahulu sampai benar – benar kering. Sampel selanjutnya dipotong untuk dilapisi dengan emas murni (*coating*) yang berfungsi sebagai penghantar. Permukaan membran kemudian difoto dengan perbesaran tertentu.



(a)



(b)

Gambar 3.11 (a) Proses coating (b) Mikroskop SEM Merk ZEISS

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Karakteristik Limbah Cair Batik

Karakteristik awal limbah cair batik diuji sebelum difiltrasi dengan membran. Hasil uji karakteristik awal dapat dilihat pada Tabel 4.1. Dalam produksi batik terutama proses pewarnaan, bahan kimia dan air adalah bahan yang dominan digunakan. Ciri yang paling mudah dikenali pada limbah cair pewarnaan batik adalah warnanya. Pada tabel dapat dilihat bahwa kandungan warna pada limbah cair batik melebihi baku mutu. Menurut Suprihatin (2014), senyawa warna ini cukup stabil sehingga sangat sulit untuk terdegradasi di alam dan berbahaya bagi lingkungan apalagi dalam konsentrasi yang sangat besar karena dapat menaikkan COD (*Chemical Oxygen Demand*) dapat dilihat juga pada Tabel 4.1 bahwa nilai COD melebihi baku mutu.

Tabel 4.1 Karakteristik Limbah Cair Batik Awal

| No | Parameter | Satuan | Hasil Analisa | Baku Mutu (Pergub Jatim No 7 2013) |
|----|------------------|---------------------|---------------|---|
| 1 | Warna | Pt-Co | 3050 | 50 |
| 2 | TSS | mg/L | 208 | 50 |
| 3 | COD | mg/L | 16654,8 | 150 |
| 4 | BOD | mg/L O ₂ | 1777,5 | 60 |
| 5 | pH | - | 6,82 | 6-9 |
| 6 | Minyak dan lemak | mg/L | 122,5 | 3 |
| 7 | Fenol | mg/L | 4,28 | 0,5 |
| 8 | Amonium | mg/L | 0,977 | 8 |
| 9 | Cr | mg/L | <0,021 | 1 |
| 10 | H ₂ S | mg/L | 0,066 | 0,3 |

Sumber : Baristand, 2016

Analisa karakteristik awal dan akhir dari limbah cair batik yang akan difiltrasi pada reaktor membran perlu dilakukan untuk mengetahui % rejeksi yang mampu dihasilkan oleh membran kitosan-zeolit nantinya.

4.2 Hasil Pengujian Membran dalam Reaktor

4.2.1 Pengaruh Tekanan dan Komposisi Bahan Membran dalam Aplikasi Reaktor *Cross Flow* terhadap Koefisien Rejeksi Warna

Salah satu karakterisasi membran adalah dengan melihat permselektivitasnya dalam menahan suatu spesi dalam hal ini adalah zat warna dan meloloskan spesi lain yang lebih kecil ukurannya. Selektivitas dinyatakan dalam koefisien rejeksi.

Parameter pertama pada permeat yang dianalisa adalah kandungan warna. Karakteristik awal limbah cair batik dari proses pewarnaan dianalisa kandungan warnanya. Analisa ini digunakan sebagai kandungan umpan sebelum filtrasi. Hasil analisa dapat dilihat pada Tabel 4.2. Contoh perhitungan rejeksi warna serta kurva kalibrasi warna dapat dilihat pada lampiran C dan E.

Tabel 4.2 Kandungan Warna pada Umpan Awal Membran Tekanan 1 Bar

| Komposisi Membran | Nilai Warna (Pt-co) |
|-------------------|----------------------|
| Komposisi 1:1 | 7950 |
| Kkomposisi 1:2 | 7550 |
| Komposisi 2:1 | 9450 |

Zat warna sulit mengendap karena partikel yang dimiliki berukuran $< 10 \mu\text{m}$ (Streese et al., 2005).

Tabel 4.3 Rejeksi Warna Tekanan 1 Bar

| Menit | Nilai Warna Komposisi 1:1 (Pt-Co) | % Rejeksi Warna Komposisi 1:1 | Nilai Warna Komposisi 1:2 (Pt-Co) | % Rejeksi Warna Komposisi 1:2 | Nilai Warna Komposisi 2:1 (Pt-Co) | % Rejeksi Warna Komposisi 2:1 |
|-------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 5 | 1300 | 83.65% | 1850 | 75.50% | 950 | 89.95% |
| 10 | 1150 | 85.53% | 1700 | 77.48% | 950 | 89.95% |
| 15 | 1100 | 86.16% | 1600 | 78.81% | 900 | 90.48% |
| 20 | 1150 | 85.53% | 1450 | 80.79% | 850 | 91.01% |
| 25 | 1200 | 84.91% | 1400 | 81.46% | 900 | 90.48% |
| 30 | 1050 | 86.79% | 1500 | 80.13% | 800 | 91.53% |
| 35 | 1050 | 86.79% | 1500 | 80.13% | 850 | 91.01% |
| 40 | 1100 | 86.16% | 1400 | 81.46% | 900 | 90.48% |

Tabel 4.4 Rejeksi Warna Tekanan 1 Bar

| Menit | Nilai Warna Kompo sisi 1:1 (Pt-Co) | % Rejeksi Warna Komposi si 1:1 | Nilai Warna Kompos isi 1:2 (Pt-Co) | % Rejeksi Warna Komposisi 1:2 | Nilai Warna Komposi si 2:1 (Pt-Co) | % Rejeksi Warna Komposi si 2:1 |
|-------|--|--|--|--|--|--|
| 45 | 1050 | 86.79% | 1350 | 82.12% | 850 | 91.01% |
| 50 | 1050 | 86.79% | 1350 | 82.12% | 800 | 91.53% |
| 55 | 900 | 88.68% | 1600 | 78.81% | 700 | 92.59% |
| 60 | 850 | 89.31% | 1300 | 82.78% | 750 | 92.06% |
| 65 | 1000 | 87.42% | 1400 | 81.46% | 550 | 94.18% |
| 70 | 900 | 88.68% | 1250 | 83.44% | 650 | 93.12% |
| 75 | 850 | 89.31% | 1150 | 84.77% | 600 | 93.65% |
| 80 | 900 | 88.68% | 1200 | 84.11% | 500 | 94.71% |

Tabel 4.5 Kandungan Warna pada Umpan Awal Membran Tekanan 1,5 Bar

| Komposisi Membran | Nilai Warna (Pt-co) |
|-------------------|----------------------|
| Komposisi 1:1 | 7950 |
| Komposisi 1:2 | 7450 |
| Komposisi 2:1 | 8050 |

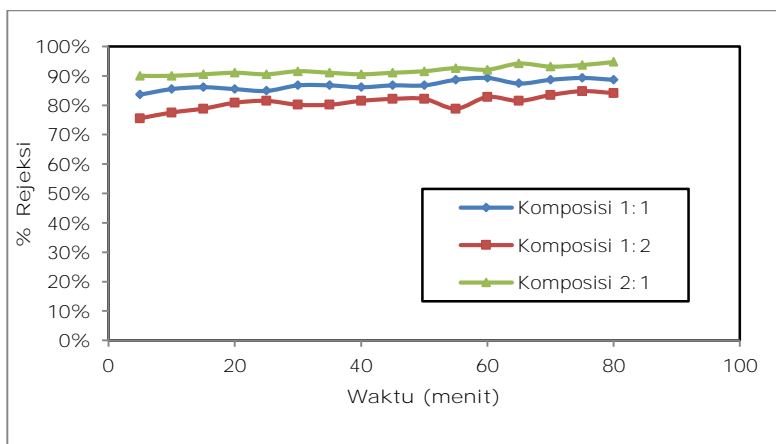
Tabel 4.6 Rejeksi Warna Tekanan 1,5 Bar

| Menit | Nilai Warna Kompo sisi 1:1 (Pt-Co) | % Rejeksi Warna Komposis i 1:1 | Nilai Warna Komposis i 1:2 (Pt-Co) | % Rejeksi Warna Komposis i 1:2 | Nilai Warna Kompos isi 2:1 (Pt-Co) | % Rejeksi Warna Komposi si 2:1 |
|-------|--|---|--|---|--|--|
| 5 | 2650 | 66.67% | 2450 | 67.11% | 1450 | 81.99% |
| 10 | 2500 | 68.55% | 2250 | 69.80% | 1350 | 83.23% |
| 15 | 2550 | 67.92% | 2200 | 70.47% | 1400 | 82.61% |
| 20 | 2500 | 68.55% | 2400 | 67.79% | 1250 | 84.47% |
| 25 | 2300 | 71.07% | 2300 | 69.13% | 1350 | 83.23% |
| 30 | 2200 | 72.33% | 2150 | 71.14% | 1250 | 84.47% |
| 35 | 2100 | 73.58% | 2000 | 73.15% | 1200 | 85.09% |
| 40 | 2150 | 72.96% | 1900 | 74.50% | 1050 | 86.96% |
| 45 | 2050 | 74.21% | 2100 | 71.81% | 1000 | 87.58% |
| 50 | 2000 | 74.84% | 2000 | 73.15% | 1050 | 86.96% |

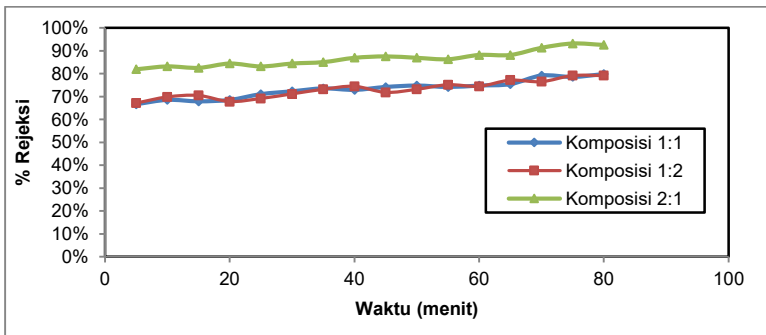
Tabel 4.7 Rejeksi Warna Tekanan 1,5 Bar

| Menit | Nilai Warna Komposisi 1:1 (Pt-Co) | % Rejeksi Warna Komposisi 1:1 | Nilai Warna Komposisi 1:2 (Pt-Co) | % Rejeksi Warna Komposisi 1:2 | Nilai Warna Komposisi 2:1 (Pt-Co) | % Rejeksi Warna Komposisi 2:1 |
|-------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 55 | 2050 | 74.21% | 1850 | 75.17% | 1100 | 86.34% |
| 60 | 2000 | 74.84% | 1900 | 74.50% | 950 | 88.20% |
| 65 | 1950 | 75.47% | 1700 | 77.18% | 950 | 88.20% |
| 70 | 1650 | 79.25% | 1750 | 76.51% | 700 | 91.30% |
| 75 | 1700 | 78.62% | 1550 | 79.19% | 550 | 93.17% |
| 80 | 1600 | 79.87% | 1550 | 79.19% | 600 | 92.55% |

Dari Tabel 4.3, Tabel 4.3, Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa rejeksi warna terbesar dihasilkan oleh membran komposit kitosan-zeolit dengan komposisi 2:1. Rejeksi yang dihasilkan adalah 94,71% pada tekanan 1 bar dan 93,17% pada tekanan 1,5 bar. Rejeksi pada komposisi 1:1 adalah 79,87% pada tekanan 1,5 bar dan 89,31% pada 1 bar. Sedangkan komposisi kitosan-zeolit 1:2 memiliki rejeksi yang kecil dibandingkan yang lain yaitu 79,19% pada tekanan 1,5 bar dan 84,77% pada tekanan 1 bar.



Gambar 4.1 Rejeksi Warna pada Tekanan 1 Bar



Gambar 4.2 Rejeksi Warna pada Tekanan 1,5 Bar

Dari waktu ke waktu dalam rentang 80 menit konsentrasi zat warna semakin menurun dan menyebabkan koefisien rejeksi menjadi meningkat. Penurunan konsentrasi setelah permeat melewati membran menunjukkan bahwa membran telah berhasil menyeleksi atau melakukan penyisihan dari suatu partikel. Selektivitas membran sendiri bergantung pada interaksi antarmuka dari membran dengan spesi yang akan melewati serta ukuran pori membran tersebut (Bokau, 2013).

Komposisi kitosan – zeolit 2:1 memiliki rejeksi paling besar karena adanya pengaruh kitosan yang lebih banyak dari zeolit, kitosan membuat pori-pori membran lebih rapat.

Kitosan adalah polimer alam yang strukturnya mirip selulosa serta dapat dibentuk menjadi film tipis (Kurniasih dan Kartika, 2011). Hubungan antara rejeksi dan komposisi bahwa makin tinggi komposisi kitosan dari zeolit akan menghasilkan rejeksi makin tinggi. Hal ini dapat diterangkan bahwa membran adalah lapisan tipis yang berpori. Pori-pori membran dibentuk oleh adanya matrik polimer penyusun membran, sehingga makin banyak polimer (selulosa asetat) maka matrik polimer makin rapat sehingga menghasilkan pori-pori yang lebih kecil (Suseno dkk, 2003). Adanya penambahan bahan anorganik seperti zeolit yang berfungsi sebagai porogen dan juga memberi kekuatan mekanik agar kitosan mampu bertahan lebih lama saat diuji pada reaktor.

Pada umumnya membran dengan bahan dasar kitosan memiliki sifat hidrofilitas yang tinggi. Hal ini dimungkinkan karena adanya gugus fungsi aktif yang terdapat dalam kitosan seperti gugus OH^- dan NH_3^+ yang dapat mengadakan ikatan dengan molekul H_2O (Bokau, 2013).

Gugus NH_2 dan OH^- yang terdapat dalam kitosan merupakan gugus yang bersifat basa, sehingga ketika kontak dengan larutan zat warna memiliki kecenderungan untuk berikatan. Sementara itu, gugus $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ dan $-\text{Si}-\text{O}-\text{R}$ dari kitosan memiliki kecenderungan untuk berikatan dengan gugus aktif baik yang dimiliki oleh kitosan dan larutan zat warna (Chatterjeet *et al.*, 2009).

Pada grafik juga dapat dilihat bahwa rejeksi tertinggi didapat pada tekanan 1 bar. Hal ini disebabkan pada tekanan 1 bar aliran umpan yang melewati membran kecepatannya rendah dan pelan dan fluida lebih stabil (tenang) sehingga kontaminan mempunyai kesempatan untuk tersaring lebih besar sedangkan pada tekanan 1,5 bar semakin cepat umpan mengalir pada permukaan membran, maka semakin sedikit kesempatan zat kontaminan yang tersaring oleh membran tersebut.

Kemungkinan adanya deformasi pada membran akibat semakin besar tekanan juga dapat menurunkan koefisien rejeksi. Pelebaran pori akan menurunkan kemampuan membran untuk menahan partikel yang terdapat pada air umpan sehingga nilai koefisien rejeksi membran pada tekanan yang besar akan menurun (Notodarmojo dan Deniva, 2004).

Zat warna yang digunakan dalam pewarnaan batik adalah zat warna sintesis. Limbah pewarnaan ketika difilter menggunakan kertas saring $0,45 \mu\text{m}$ dapat tersaring. Hal ini menunjukkan bahwa warnanya bersifat semu.

Warna air limbah dibedakan menjadi dua, yaitu warna sejati dan warna semu. Warna sejati disebabkan oleh warna organik yang mudah larut serta beberapa ion logam. Sedangkan warna semu disebabkan oleh air yang mengandung kekeruhan atau adanya bahan tersuspensi dari warna sejati serta karena adanya bahan-bahan tersuspensi termasuk koloid (Yulianto dkk, 2009)

Dalam industri batik, warna yang digunakan adalah warna sintesis yaitu azo dan naphtol dan itu merupakan warna semu, warna semu adalah warna yang disebabkan oleh adanya kekeruhan atau bahan tersuspensi penyebab warna sejati termasuk koloid (Lestari dan Agung, 2013).

Pada Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa warna yang berhasil disisihkan oleh membrane masih belum memenuhi baku mutu karena kadar awal warnanya sangat pekat.

Tabel 4.8 Hasil Penyisihan Warna

| Variasi Membran | Kadar Awal warna (Pt-co) | Kadar Akhir warna (Pt-co) | Baku Mutu KepMen LH No 51 |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Komposisi 1:1 tekanan 1 bar | 7950 | 900 | 50 |
| Komposisi 1:1 tekanan 1,5 bar | 7950 | 1600 | 50 |
| Komposisi 1:2 tekanan 1 bar | 7550 | 1200 | 50 |
| Komposisi 1:2 tekanan 1,5 bar | 7450 | 1550 | 50 |
| Komposisi 2:1 tekanan 1 bar | 9450 | 500 | 50 |
| Komposisi 2:1 tekanan 1,5 bar | 8050 | 600 | 50 |

Pada beberapa penelitian terdahulu hasil permeat dari membran kitosan dan membran zeolit tanpa komposit juga dianalisa rejeksinya terhadap parameter warna dari limbah masing masing. Penelitian Prameswari (2013), hasil dekolorasi zat congo red pada limbah batik menggunakan membran kitosan sebesar 75% yang terremoval. Variasi yang digunakan adalah komposisi membran dengan zat perekatnya yaitu PVA. Penelitian lain oleh Pramita (2015), menyebutkan bahwa sebesar 90,68% zat warna limbah cair batik terejeksi oleh membran zeolit silika. Sedangkan pada penelitian ini, dengan adanya komposit kitosan dan zeolit, rejeksi dari zat warna tertinggi dari komposisi kitosan 2:1 meningkat sebesar 94,71%. Hal ini membuktikan bahwa zeolit yang tercampur membentuk ikatan yang kompak dengan kitosan yang mampu merejeksi zat warna lebih besar. Zeolit berfungsi sebagai

porogen dan pemberi struktur kuat/mekanik pada membran sedangkan kitosan berfungsi sebagai lapisan aktif dengan pori yang lebih rapat.

Perbandingan rejeksi warna pada masing masing bahan baku membran dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perbandingan Rejeksi Warna Membran Komposit

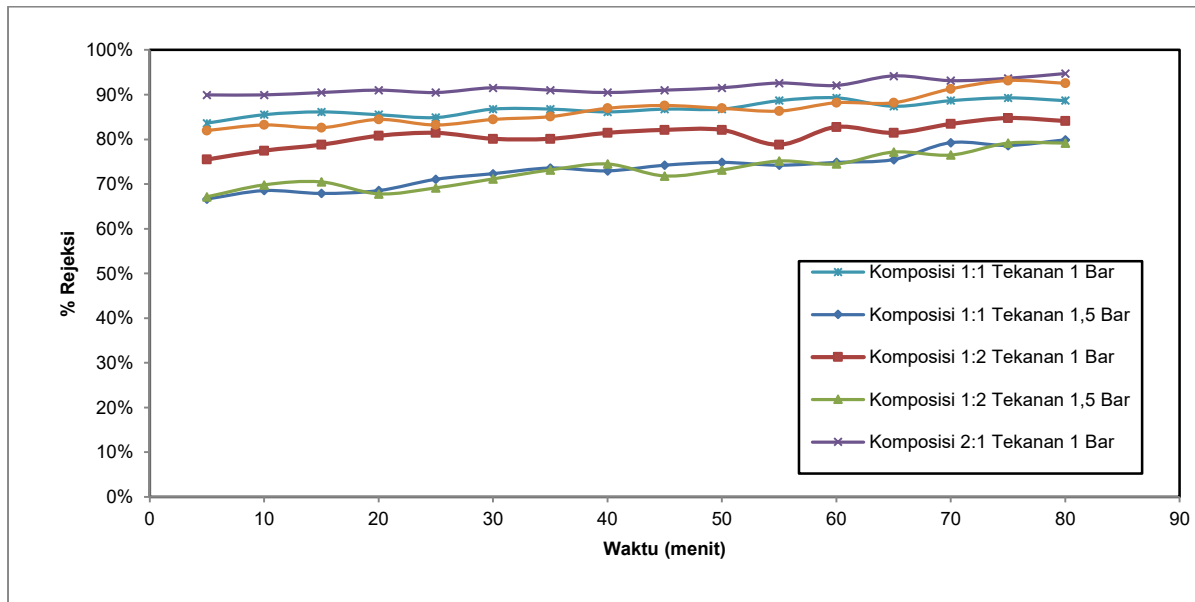
| Bahan Membran | Variasi | Rejeksi (%) | Sumber |
|-------------------------|--|--------------------|------------------|
| Kitosan | Kitosan : PVA | 75% | Prameswari, 2013 |
| Zeolit | 1.5% silika | 90.68% | Pramita, 2015 |
| Kitosan - Zeolit | Komposisi Kitosan Zeolit 1:1 tekanan 1 bar | 89.31% | Hasil analisa |
| | Komposisi Kitosan Zeolit 1:1 tekanan 1,5 bar | 79.87% | |
| | Komposisi Kitosan Zeolit 1:2 tekanan 1 bar | 84.77% | |
| | Komposisi Kitosan Zeolit 1:2 tekanan 1,5 bar | 79.19% | |
| | Komposisi Kitosan Zeolit 2:1 tekanan 1 bar | 94.71% | |
| | Komposisi Kitosan Zeolit 2:1 tekanan 1,5 bar | 93.17% | |

Tabel 4.10 Nilai Warna Hasil Filtrasi

| Menit | Nilai Warna Tekanan 1 Bar Komposisi 1:1 (Pt-Co) | Nilai Warna Tekanan 1,5 Bar Komposisi 1:1(Pt-Co) | Nilai Warna Tekanan 1 Bar Komposisi 1:2 (Pt-Co) | Nilai Warna Tekanan 1,5 Bar Komposisi 1:2 (Pt-Co) | Nilai Warna Tekanan 1 Bar Komposisi 2:1 (Pt-Co) | Nilai Warna Tekanan 1,5 Bar Komposisi 2:1 (Pt-Co) |
|--------------|--|---|--|--|--|--|
| 5 | 1300 | 2650 | 1850 | 2450 | 950 | 1450 |
| 10 | 1150 | 2500 | 1700 | 2250 | 950 | 1350 |
| 15 | 1100 | 2550 | 1600 | 2200 | 900 | 1400 |
| 20 | 1150 | 2500 | 1450 | 2400 | 850 | 1250 |
| 25 | 1200 | 2300 | 1400 | 2300 | 900 | 1350 |
| 30 | 1050 | 2200 | 1500 | 2150 | 800 | 1250 |
| 35 | 1050 | 2100 | 1500 | 2000 | 850 | 1200 |
| 40 | 1100 | 2150 | 1400 | 1900 | 900 | 1050 |
| 45 | 1050 | 2050 | 1350 | 2100 | 850 | 1000 |
| 50 | 1050 | 2000 | 1350 | 2000 | 800 | 1050 |
| 55 | 900 | 2050 | 1600 | 1850 | 700 | 1100 |
| 60 | 850 | 2000 | 1300 | 1900 | 750 | 950 |
| 65 | 1000 | 1950 | 1400 | 1700 | 550 | 950 |
| 70 | 900 | 1650 | 1250 | 1750 | 650 | 700 |
| 75 | 850 | 1700 | 1150 | 1550 | 600 | 550 |
| 80 | 900 | 1600 | 1200 | 1550 | 500 | 600 |

Tabel 4.11 Rejeksi Warna Hasil Filtrasi

| Menit | % Rejeksi Warna Tekanan 1 Bar Komposisi 1:1 | % Rejeksi Warna Tekanan 1,5 Bar Komposisi 1:1 | % Rejeksi Warna Tekanan 1 Bar Komposisi 1:2 | % Rejeksi Warna Tekanan 1,5 Bar Komposisi 1:2 | % Rejeksi Warna Tekanan 1 Bar Komposisi 2:1 | % Rejeksi Warna Tekanan 1,5 Bar Komposisi 2:1 |
|--------------|--|--|--|--|--|--|
| 5 | 83.65% | 66.67% | 75.50% | 67.11% | 89.95% | 81.99% |
| 10 | 85.53% | 68.55% | 77.48% | 69.80% | 89.95% | 83.23% |
| 15 | 86.16% | 67.92% | 78.81% | 70.47% | 90.48% | 82.61% |
| 20 | 85.53% | 68.55% | 80.79% | 67.79% | 91.01% | 84.47% |
| 25 | 84.91% | 71.07% | 81.46% | 69.13% | 90.48% | 83.23% |
| 30 | 86.79% | 72.33% | 80.13% | 71.14% | 91.53% | 84.47% |
| 35 | 86.79% | 73.58% | 80.13% | 73.15% | 91.01% | 85.09% |
| 40 | 86.16% | 72.96% | 81.46% | 74.50% | 90.48% | 86.96% |
| 45 | 86.79% | 74.21% | 82.12% | 71.81% | 91.01% | 87.58% |
| 50 | 86.79% | 74.84% | 82.12% | 73.15% | 91.53% | 86.96% |
| 55 | 88.68% | 74.21% | 78.81% | 75.17% | 92.59% | 86.34% |
| 60 | 89.31% | 74.84% | 82.78% | 74.50% | 92.06% | 88.20% |
| 65 | 87.42% | 75.47% | 81.46% | 77.18% | 94.18% | 88.20% |
| 70 | 88.68% | 79.25% | 83.44% | 76.51% | 93.12% | 91.30% |
| 75 | 89.31% | 78.62% | 84.77% | 79.19% | 93.65% | 93.17% |
| 80 | 88.68% | 79.87% | 84.11% | 79.19% | 94.71% | 92.55% |



Gambar 4.3 Rejeksi Warna

4.2.2 Pengaruh Tekanan dan Komposisi Bahan Membran dalam Aplikasi Reaktor Cross Flow terhadap Koefisien Rejeksi COD

Selain parameter warna, parameter lain yang diukur adalah COD. COD yang terkandung analisa COD dilakukan karena kadar nya yang tinggi serta zat pewarna pada proses pewarnaan menggunakan pewarna sintetis. Pewarnaan dan pembilasan menghasilkan air limbah yang berwarna dengan COD (*Chemical Oxygen Demand*) tinggi (Hadiwidodo *et al.*, 2009). Sama halnya seperti analisa warna, COD pada umpan awal juga dianalisa kadarnya untuk menghitung penurunan konsentrasi dalam bentuk rejeksi. Sehingga dapat diketahui pula bagaimana permselektivitas dari membran. Contoh perhitungan rejeksi COD dapat dilihat pada lampiran E.

Tabel 4.12 Kandungan COD pada Umpan Awal Membran Tekanan 1 Bar

| Komposisi Membran | Nilai COD (mg/L) |
|-------------------|-------------------|
| Komposisi 1:1 | 17015 |
| Komposisi 1:2 | 16600 |
| Komposisi 2:1 | 18190 |

Tabel 4.13 Rejeksi COD Tekanan 1 Bar

| Menit | Nilai COD Komposisi 1:1 (mg/L) | % Rejeksi COD Komposisi 1:1 | Nilai COD Komposisi 1:2 (mg/L) | % Rejeksi COD Komposisi 1:2 | Nilai COD Komposisi 2:1 (mg/L) | % Rejeksi COD Komposisi 2:1 |
|-------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 5 | 16286 | 4.28% | 15429 | 7.10% | 9600 | 47.22% |
| 10 | 15771 | 7.31% | 14229 | 14.30% | 9429 | 48.16% |
| 15 | 15429 | 9.32% | 12000 | 27.80% | 9429 | 48.16% |
| 20 | 15943 | 6.30% | 12171 | 26.70% | 8914 | 51.00% |
| 25 | 15086 | 11.34% | 12000 | 27.80% | 7714 | 57.59% |
| 30 | 14571 | 14.36% | 10629 | 36.00% | 6343 | 65.13% |
| 35 | 13714 | 19.40% | 10971 | 34.00% | 5829 | 67.95% |
| 40 | 14057 | 17.38% | 14400 | 13.30% | 5143 | 71.73% |
| 45 | 13886 | 18.39% | 9686 | 41.70% | 5143 | 71.73% |

Tabel 4.14 Rejeksi COD Tekanan 1 Bar

| Menit | Nilai COD Komposisi 1:1 (mg/L) | % Rejeksi COD Komposisi i 1:1 | Nilai COD Komposisi i 1:2 (mg/L) | % Rejeksi COD Komposisi i 1:2 | Nilai COD Komposisi i 2:1 (mg/L) | % Rejeksi COD Komposisi i 2:1 |
|-------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 50 | 13029 | 23.43% | 7714 | 53.60% | 4971 | 72.67% |
| 55 | 11829 | 30.48% | 7886 | 52.50% | 3429 | 81.15% |
| 60 | 9943 | 41.56% | 7371 | 55.60% | 2571 | 85.87% |
| 65 | 9771 | 42.57% | 7543 | 54.60% | 1200 | 93.40% |
| 70 | 9943 | 41.56% | 8400 | 49.40% | 1200 | 93.40% |
| 75 | 8743 | 48.62% | 8057 | 51.50% | 857 | 95.29% |
| 80 | 8057 | 52.65% | 7886 | 52.50% | 257 | 98.59% |

Tabel 4.15 Kandungan COD pada Umpan Awal Membran Tekanan 1,5 Bar

| Komposisi Membran | Nilai COD (mg/L) |
|-------------------|-------------------|
| Komposisi 1:1 | 16893 |
| Komposisi 1:2 | 16657 |
| Komposisi 2:1 | 18052 |

Tabel 4.16 Rejeksi COD Tekanan 1,5 Bar

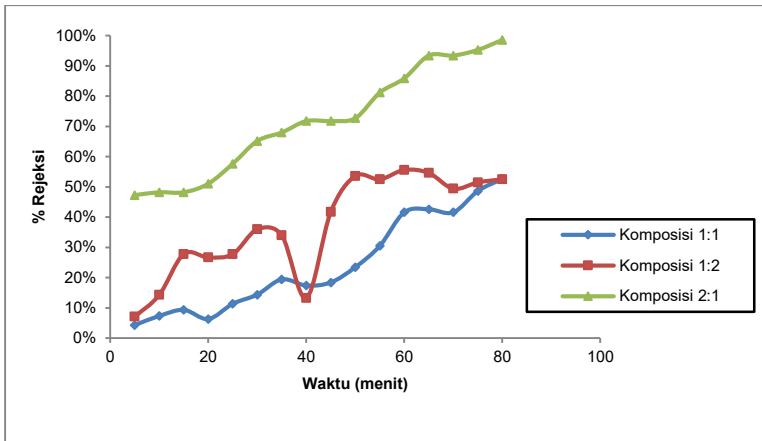
| Menit | Nilai COD Komposisi 1:1 (mg/L) | % Rejeksi COD Komposisi i 1:1 | Nilai COD Komposisi i 1:2 (mg/L) | % Rejeksi COD Komposisi i 1:2 | Nilai COD Komposisi i 2:1 (mg/L) | % Rejeksi COD Komposisi i 2:1 |
|-------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 5 | 16449 | 2.70% | 13421 | 19.50% | 12798 | 29.20% |
| 10 | 16262 | 3.80% | 12158 | 27.10% | 11967 | 33.80% |
| 15 | 12710 | 24.80% | 11053 | 33.70% | 11634 | 35.60% |
| 20 | 11963 | 29.20% | 14053 | 15.70% | 10139 | 43.90% |
| 25 | 12336 | 27.00% | 13579 | 18.50% | 11136 | 38.40% |
| 30 | 12150 | 28.10% | 11053 | 33.70% | 13296 | 26.40% |
| 35 | 11589 | 31.40% | 11368 | 31.80% | 10970 | 39.30% |
| 40 | 10280 | 39.20% | 11211 | 32.70% | 12299 | 31.90% |

Tabel 4.17 Rejeksi COD Tekanan 1,5 Bar

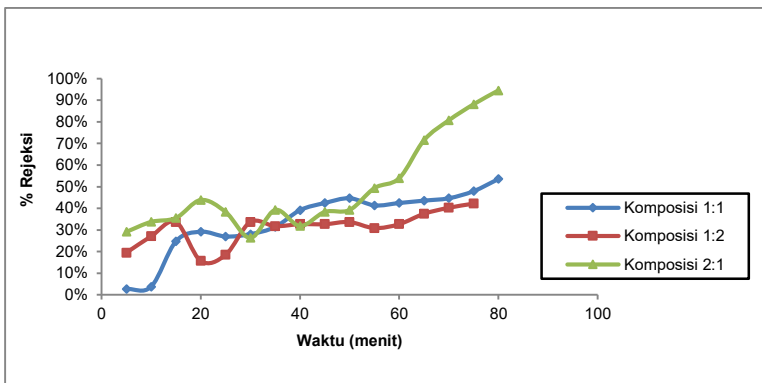
| Menit | Nilai COD Komposisi 1:1 (mg/L) | % Rejeksi COD Komposisi i 1:1 | Nilai COD Komposisi i 1:2 (mg/L) | % Rejeksi COD Komposisi i 1:2 | Nilai COD Komposisi i 2:1 (mg/L) | % Rejeksi COD Komposisi i 2:1 |
|-------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 45 | 9720 | 42.50% | 11211 | 32.70% | 11136 | 38.40% |
| 50 | 9346 | 44.70% | 11053 | 33.70% | 10970 | 39.30% |
| 55 | 9907 | 41.40% | 11526 | 30.90% | 9141 | 49.40% |
| 60 | 9720 | 42.50% | 11211 | 32.70% | 8310 | 54.00% |
| 65 | 9533 | 43.60% | 10421 | 37.50% | 5152 | 71.50% |
| 70 | 9346 | 44.70% | 9947 | 40.30% | 3490 | 80.70% |
| 75 | 8785 | 48.00% | 9632 | 42.20% | 2161 | 88.10% |
| 80 | 7850 | 53.60% | 9474 | 43.20% | 997 | 94.50% |

Dari Tabel 4.13 dan 4.14 serta Tabel 4.16 dan Tabel 4.17 dapat dilihat bahwa penurunan konsentrasi COD dihasilkan oleh membran dengan komposisi kitosan-zeolit 2:1. Sama halnya dengan penurunan kadar warna. Rejeksi COD yang dihasilkan membran komposit kitosan zeolit 2:1 sebesar 94.50% pada tekanan 1,5 bar dan 98,59% pada 1 bar. Grafik rejeksi COD berdasarkan tekanan 1 bar dan 1,5 bar dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16.

Pada tekanan 1 bar rejeksi yang dihasilkan semakin besar dibanding dengan rejeksi pada tekanan 1,5 bar. Berbeda dengan fluks yang dihasilkan pada tekanan 1 bar cenderung lebih sedikit fluks yang dihasilkan. Hal ini membuktikan bahwa memang tekanan yang tinggi membuat pori pori membran melebar. Fluks dan rejeksi berbanding terbalik. Semakin sedikit fluks, rejeksi yang dihasilkan semakin besar karena banyaknya partikel yang tersaring. Rejeksi terbesar pada komposisi 2:1 terjadi karena kerapatan pori yang dibentuk oleh banyaknya campuran kitosan dari zeolitnya. Semakin rapat maka semakin banyak partikel yang mampu tertahan. Semakin kecil ukuran pori semakin tinggi nilai selektivitasnya (Mulder, 1996).



Gambar 4.4 Rejeksi COD pada Tekanan 1 Bar



Gambar 4.5 Rejeksi COD pada Tekanan 1,5 Bar

Tertahannya partikel tersebut membuat tumpukan pada permukaan membran. Hal ini biasa disebut polarisasi konsentrasi. Polarisasi konsentrasi terjadi karena material yang terdapat didalam umpan berkumpul pada permukaan membran dan membentuk lapisan (Syarfi dan Syamsu, 2007).

Peristiwa *fouling* diawali dengan terjadinya polarisasi konsentrasi. Akumulasi konsentrasi di permukaan membrane lama lama mulai menyumbat pori-pori membran akibat proses

pemisahan zat yang mengakibatkan kemampuan membran untuk penyaringan semakin berkurang (Mulder, 1996). Lapisan ini semakin lama semakin menebal sehingga terhalangnya air umpan melewati membran dan mengurangi fluks membran.

Meskipun % rejeksi oleh membran terhadap kadar COD pada limbah pewarnaan batik tinggi, namun hasil akhir kandungan COD pada permeat masih belum memenuhi baku mutu sesuai Pergub Jatim No 72 Tahun 2013. Hal ini disebabkan karena tingginya kadar organik pada zat warna dan kandungan zat terlarut pada limbah pewarnaan yang masih lolos saat penyaringan. Sehingga perlu adanya pretreatment awal sehingga mendukung kinerja selektivitas membran yang sudah tinggi dalam merejeksi.

Tabel 4.18 Hasil Penyisihan COD

| Variasi Membran | Kadar Awal COD (mg/L) | Kadar Akhir COD (mg/L) | Baku Mutu Pergub JAti No 72 tahun 2013 |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---|
| Komposisi 1:1 tekanan 1 bar | 17015 | 8057 | 150 |
| Komposisi 1:1 tekanan 1,5 bar | 16893 | 7850 | 150 |
| Komposisi 1:2 tekanan 1 bar | 16600 | 7886 | 150 |
| Komposisi 1:2 tekanan 1,5 bar | 16657 | 9474 | 150 |
| Komposisi 2:1 tekanan 1 bar | 18190 | 257 | 150 |
| Komposisi 2:1 tekanan 1,5 bar | 18052 | 997 | 150 |

Wahyuni (2015) dengan penelitiannya menggunakan membran kitosan-PVA berhasil merejeksi COD sebesar 96,24% pada limbah POME. Komposisi kitosan dan PVA yang optimum adalah campuran yang seimbang antara keduanya. Penelitian lain oleh Pramitasari (2015) menyebutkan bahwa membran zeolit-silika mampu merejeksi COD sebesar 72,86%. Perbandingan bahan baku pembuatan membran terhadap nilai rejeksi COD dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.19 Perbandingan Nilai Rejeksi COD pada Membran Komposit

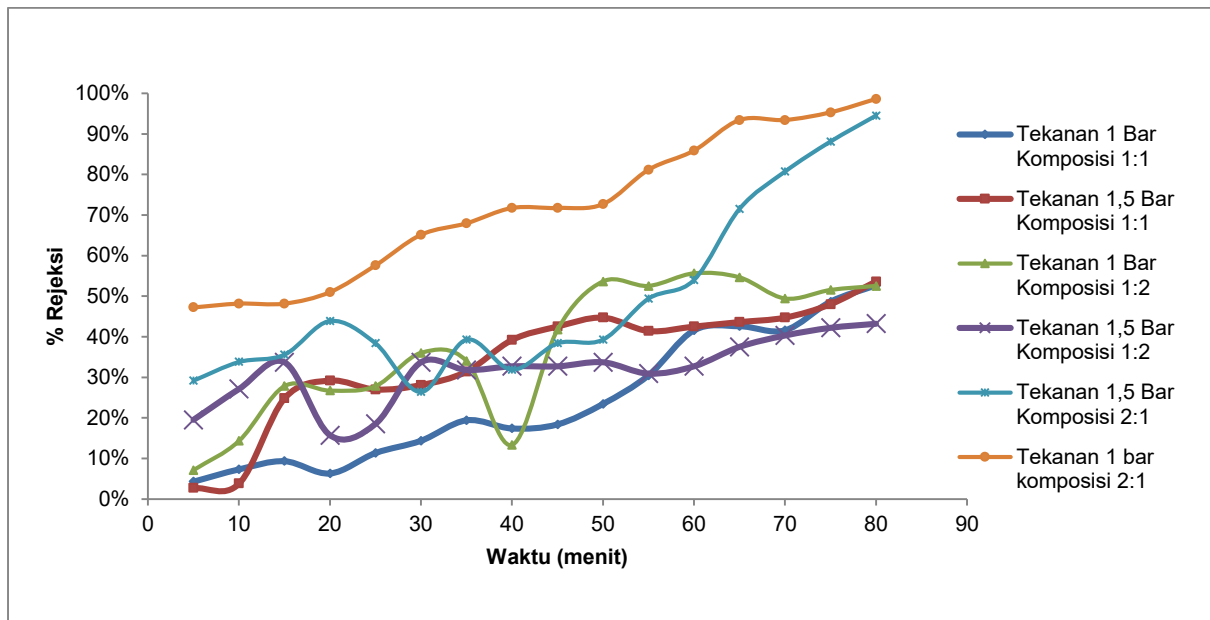
| Bahan Membran | Variasi | Rejeksi (%) | Sumber |
|-------------------------|--|--------------------|-------------------|
| Kitosan | Perbandingan konsentrasi PVA:Kitosan 1:1 | 96.24% | Wahyuni, 2015 |
| Zeolit | 1.5% silika | 72.86% | Pramitasari, 2015 |
| Kitosan - Zeolit | Komposisi Kitosan Zeolit 1:1 tekanan 1 bar | 52.65% | Hasil Analisa |
| | Komposisi Kitosan Zeolit 1:1 tekanan 1,5 bar | 53.60% | |
| | Komposisi Kitosan Zeolit 1:2 tekanan 1 bar | 52.50% | |
| | Komposisi Kitosan Zeolit 1:2 tekanan 1,5 bar | 43.20% | |
| | Komposisi Kitosan Zeolit 2:1 tekanan 1 bar | 98.59% | |
| | Komposisi Kitosan Zeolit 2:1 tekanan 1,5 bar | 94.50% | |

Tabel 4.20 Nilai COD Hasil Filtrasi

| Menit | Nilai COD Tekanan 1 Bar Komposisi 1:1 (mg/L) | Nilai COD Tekanan 1,5 Bar Komposisi 1:1 (mg/L) | Nilai COD Tekanan 1 Bar Komposisi 1:2 (mg/L) | Nilai COD Tekanan 1,5 Bar Komposisi 1:2 (mg/L) | Nilai COD Tekanan 1 Bar Komposisi 2:1 (mg/L) | Nilai COD Tekanan 1,5 Bar Komposisi 2:1 (mg/L) |
|--------------|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 16286 | 16449 | 15429 | 13421 | 9600 | 12798 |
| 10 | 15771 | 16262 | 14229 | 12158 | 9429 | 11967 |
| 15 | 15429 | 12710 | 12000 | 11053 | 9429 | 11634 |
| 20 | 15943 | 11963 | 12171 | 14053 | 8914 | 10139 |
| 25 | 15086 | 12336 | 12000 | 13579 | 7714 | 11136 |
| 30 | 14571 | 12150 | 10629 | 11053 | 6343 | 13296 |
| 35 | 13714 | 11589 | 10971 | 11368 | 5829 | 10970 |
| 40 | 14057 | 10280 | 14400 | 11211 | 5143 | 12299 |
| 45 | 13886 | 9720 | 9686 | 11211 | 5143 | 11136 |
| 50 | 13029 | 9346 | 7714 | 11053 | 4971 | 10970 |
| 55 | 11829 | 9907 | 7886 | 11526 | 3429 | 9141 |
| 60 | 9943 | 9720 | 7371 | 11211 | 2571 | 8310 |
| 65 | 9771 | 9533 | 7543 | 10421 | 1200 | 5152 |
| 70 | 9943 | 9346 | 8400 | 9947 | 1200 | 3490 |
| 75 | 8743 | 8785 | 8057 | 9632 | 857 | 2161 |
| 80 | 8057 | 7850 | 7886 | 9474 | 257 | 997 |

Tabel 4.21 Rejeksi COD Hasil Filtrasi

| Menit | % Rejeksi COD Tekanan 1 Bar Komposisi 1:1 | % Rejeksi COD Tekanan 1,5 Bar Komposisi 1:2 | % Rejeksi COD Tekanan 1 Bar Komposisi 1:2 | % Rejeksi COD Tekanan 1,5 Bar Komposisi 1:2 | % Rejeksi COD Tekanan 1 Bar Komposisi 2:1 | % Rejeksi COD Tekanan 1,5 Bar Komposisi 2:1 |
|--------------|--|--|--|--|--|--|
| 5 | 4.28% | 2.70% | 7.10% | 19.50% | 47.22% | 29.20% |
| 10 | 7.31% | 3.80% | 14.30% | 27.10% | 48.16% | 33.80% |
| 15 | 9.32% | 24.80% | 27.80% | 33.70% | 48.16% | 35.60% |
| 20 | 6.30% | 29.20% | 26.70% | 15.70% | 51.00% | 43.90% |
| 25 | 11.34% | 27.00% | 27.80% | 18.50% | 57.59% | 38.40% |
| 30 | 14.36% | 28.10% | 36.00% | 33.70% | 65.13% | 26.40% |
| 35 | 19.40% | 31.40% | 34.00% | 31.80% | 67.95% | 39.30% |
| 40 | 17.38% | 39.20% | 13.30% | 32.70% | 71.73% | 31.90% |
| 45 | 18.39% | 42.50% | 41.70% | 32.70% | 71.73% | 38.40% |
| 50 | 23.43% | 44.70% | 53.60% | 33.70% | 72.67% | 39.30% |
| 55 | 30.48% | 41.40% | 52.50% | 30.90% | 81.15% | 49.40% |
| 60 | 41.56% | 42.50% | 55.60% | 32.70% | 85.87% | 54.00% |
| 65 | 42.57% | 43.60% | 54.60% | 37.50% | 93.40% | 71.50% |
| 70 | 41.56% | 44.70% | 49.40% | 40.30% | 93.40% | 80.70% |
| 75 | 48.62% | 48.00% | 51.50% | 42.20% | 95.29% | 88.10% |
| 80 | 52.65% | 53.60% | 52.50% | 43.20% | 98.59% | 94.50% |



Gambar 4.6 Rejeksi COD Hasil Filtrasi

4.2.3 Pengaruh Tekanan dan Komposisi Bahan Membran dalam Aplikasi Reaktor *Cross Flow* terhadap Nilai Fluks Membran

Pada filtrasi membran akan didapat permeat yang akan digunakan untuk menentukan permeabilitas suatu membran. Permeabilitas suatu membran merupakan ukuran kecepatan partikel yang bisa menembus membran. Permeabilitas disimbolkan oleh nilai fluks. *Fluks* adalah jumlah volume permeat yang melewati satuan luas membran dalam waktu tertentu (Mulder, 1996). Nilai fluks membran juga merupakan fungsi dari ukuran pori, porositas, ketebalan dan struktur membran (Sari, 2014). Perhitungan nilai fluks membran dapat dilihat pada Lampiran D. Nilai fluks yang dihasilkan pada setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan Tabel 4.22.

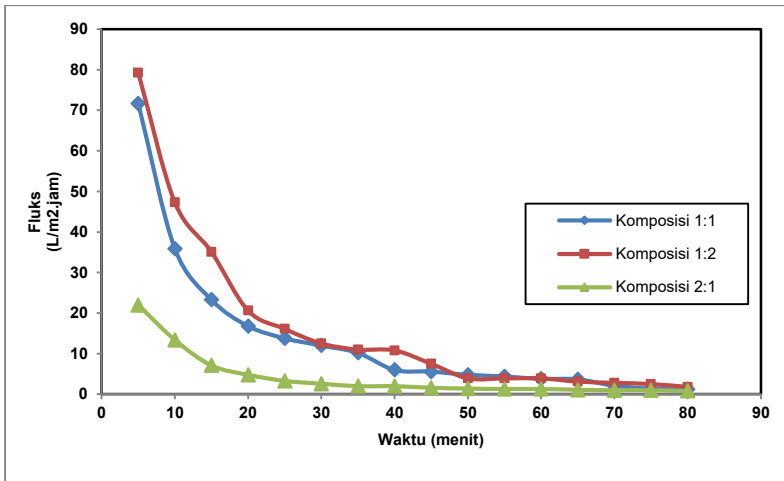
Tabel 4.22 Fluks Membran pada Tekanan 1 Bar

| Menit | Volume Permeate Komposisi 1:1 (mL) | Fluks Komposisi 1:1 (L/m ² .jam) | Volume Permeate Komposisi 1:2 (mL) | Fluks Komposisi 1:2 (L/m ² .jam) | Volume Permeate Komposisi 2:1 (mL) | Fluks Komposisi 2:1 (L/m ² .jam) |
|-------|------------------------------------|---|------------------------------------|---|------------------------------------|---|
| 5 | 7.5 | 71.7 | 8.3 | 79.3 | 2.3 | 22 |
| 10 | 7.5 | 35.9 | 9.9 | 47.3 | 2.8 | 13.4 |
| 15 | 7.3 | 23.3 | 11 | 35.1 | 2.2 | 7.1 |
| 20 | 7 | 16.8 | 8.6 | 20.6 | 2 | 4.8 |
| 25 | 7.2 | 13.8 | 8.4 | 16.1 | 1.7 | 3.3 |
| 30 | 7.5 | 12 | 7.8 | 12.5 | 1.6 | 2.6 |
| 35 | 7.4 | 10.2 | 8 | 11 | 1.4 | 2 |
| 40 | 5 | 6 | 9 | 10.8 | 1.6 | 2 |
| 45 | 5.2 | 5.6 | 7 | 7.5 | 1.5 | 1.6 |
| 50 | 5 | 4.8 | 4 | 3.9 | 1.4 | 1.4 |
| 55 | 5 | 4.4 | 4.4 | 3.9 | 1.4 | 1.3 |
| 60 | 4.7 | 3.8 | 4.8 | 3.9 | 1.6 | 1.3 |
| 65 | 5 | 3.7 | 4.2 | 3.1 | 1.4 | 1.1 |
| 70 | 3 | 2.1 | 4 | 2.8 | 1.4 | 1 |
| 75 | 2.1 | 1.4 | 3.9 | 2.5 | 1.5 | 1 |
| 80 | 2 | 1.2 | 3 | 1.8 | 1.2 | 0.8 |

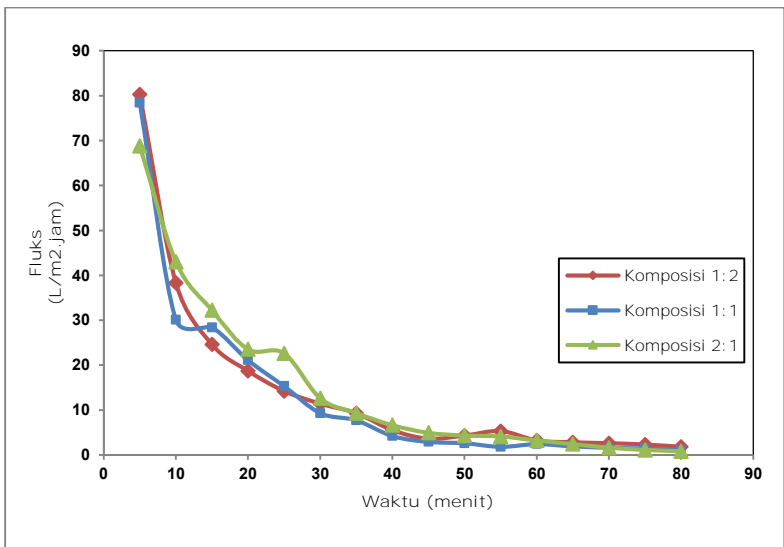
Tabel 4.23 Fluks Membran pada Tekanan 1,5 Bar

| Menit | Volume Permeate Komposisi 1:1 (mL) | Fluks Komposisi 1:1 (L/m ² .jam) | Volume Permeate Komposisi 1:2 Bar (mL) | Fluks Tekanan Komposisi 1:2 (L/m ² .jam) | Volume Permeate Komposisi 2:1 (mL) | Fluks Komposisi 2:1 (L/m ² .jam) |
|-------|------------------------------------|---|--|---|------------------------------------|---|
| 5 | 8.2 | 78.4 | 8.4 | 80.3 | 7.2 | 68.8 |
| 10 | 8.5 | 40.7 | 9 | 43 | 9 | 43 |
| 15 | 8.9 | 28.4 | 7.7 | 24.6 | 9 | 28.7 |
| 20 | 8.8 | 21.1 | 7.8 | 18.7 | 9.8 | 23.5 |
| 25 | 8.6 | 16.5 | 7.4 | 14.2 | 9 | 17.2 |
| 30 | 6.4 | 10.2 | 7.1 | 11.4 | 7.9 | 12.6 |
| 35 | 7 | 9.6 | 6.8 | 9.3 | 6.8 | 9.3 |
| 40 | 5.4 | 6.5 | 4.6 | 5.5 | 5.5 | 6.6 |
| 45 | 4.6 | 4.9 | 3.3 | 3.6 | 4.6 | 4.9 |
| 50 | 4.8 | 4.6 | 4.5 | 4.3 | 4.5 | 4.3 |
| 55 | 4.3 | 3.8 | 6.9 | 6 | 4.7 | 4.1 |
| 60 | 4 | 3.2 | 4 | 3.2 | 3.6 | 2.9 |
| 65 | 3.3 | 2.5 | 3.8 | 2.8 | 2.2 | 1.7 |
| 70 | 3.2 | 2.2 | 3.8 | 2.6 | 2.3 | 1.6 |
| 75 | 2.3 | 1.5 | 3.5 | 2.3 | 1.7 | 1.1 |
| 80 | 1.8 | 1.1 | 3 | 1.8 | 1.2 | 0.8 |

Berdasarkan Tabel 4.21 dan 4.22, dapat dilihat bahwa pada komposisi kitosan – zeolit 1:2 di setiap tekanan menghasilkan fluks paling besar di menit ke-5 yaitu 80,3 L/m².jam pada tekanan 1,5 bar dan 79,3 L/m².jam pada tekanan 1 bar. Perbedaan yang sangat jauh pada komposisi membran kitosan zeolit 2:1 dimana fluks yang dihasilkan pada menit ke-5 hanya 22 L/m².jam pada tekanan 1 bar dan 68,8 pada tekanan 1,5 bar. Fluks yang dihasilkan setiap membran dari menit ke-5 sampai menit ke-80 menurun. Semakin lama waktu running reaktor maka fluks yang akan dihasilkan akan semakin menurun seiring dengan adanya penumpukan partikel tersaring yang menyebabkan terbentuknya *fouling*. Ciri - ciri terbentuknya *fouling* sendiri adalah mulai berkurangnya permeat yang dihasilkan sampai tidak keluar permeat sama sekali. Grafik kurva fluks yang dihasilkan membran dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.



Gambar 4.7 Fluks Membran Tekanan 1 Bar



Gambar 4.8 Fluks Membran Tekanan 1,5 bar

Fouling pada membran disebabkan oleh partikel atau koloid yang terdapat pada air umpan dan terdepositasi pada

permukaan membran. Bahan organik, presipitat garam anorganik yang telah lama terdeposit pada membran, dan pertumbuhan mikroorganisme merupakan penyebab terjadinya fouling (Porcelli dan Jud, 2010). Fouling yang disebabkan oleh mikroorganisme biasa disebut biofouling.

Limbah cair pewarnaan batik yang difiltrasi merupakan 100% konsentrasi air limbah tanpa dilakukan pengenceran dan tanpa adanya pretreatment. Hal ini menyebabkan kandungan material organik maupun anorganiknya tinggi sehingga fouling yang terbentuk semakin cepat.

Komposisi dari membran juga akan mempengaruhi fluks yang dihasilkan. Dalam pembentukan membran, struktur pori membran komposit dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain konsentrasi polimer yaitu kitosan, bahan pembentuk dinding yang sengaja ditambahkan untuk memperbaiki sifat mekanik membran yaitu zeolit. Dari Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 fluks pada komposisi kitosan-zeolit 1:2 menghasilkan fluks terbesar karena adanya penambahan zeolit yang lebih banyak. Zeolit mampu membentuk luas permukaan pori di sela-sela kitosan makin besar sehingga mampu meloloskan fluida lebih banyak dan permeabilitas airnya menjadi tinggi. Celah membran yang terbentuk mengakibatkan permeat dapat melewati membran dengan cepat. Kecepatan permeat inilah yang menjadikan nilai permeabilitas membran semakin meningkat. Penambahan material anorganik dalam membran kitosan dapat meningkatkan permeabilitas membran tersebut (Bokau, 2013).

Permeabilitas membran secara keseluruhan dipengaruhi bagaimana pori-pori membran tersusun (Liu *et al*, 2003). Membran komposisi 1:2 menjadi lebih makroporus karena komposisi zeolit yang lebih banyak. Sifat makroporus inilah yang menyebabkan permeat yang dihasilkan lebih banyak. Zeolit mampu menambah kestabilan membran karena jika kitosan berikatan dengan zeolit akan menghasilkan ikatan yang lebih kuat sehingga situs aktif yang dihasilkan akan semakin stabil karena matriks kitosan-zeolit yang dihasilkan lebih teratur (Arifiani, 2012). Pada komposisi kitosan-zeolit 2:1 dimana penambahan zeolit lebih sedikit menyebabkan luas permukaan pori yang dibentuk zeolit pada sela-sela kitosan

juga tidak begitu banyak sehingga fluks yang dihasilkan sedikit. Sedangkan pada komposisi kitosan-zeolit 1:1 jumlah kitosan dan zeolit yang ditambahkan sama. Hal ini menyebabkan keseimbangan ikatan dalam membran.

Tabel 4.24 Jumlah Permeat yang Dihasilkan

| Kitosan (gram) | Zeolit (gram) | Permeat dihasilkan pada Tekanan 1 Bar (mL) | Permeat dihasilkan pada 1,5 Bar (mL) |
|---------------------------|--------------------------|---|---|
| 5 | 2,5 | 27 | 89 |
| 5 | 5 | 88.4 | 90.1 |
| 5 | 10 | 106.3 | 91.6 |

Adanya perbedaan tekanan aplikasi reaktor juga mempengaruhi fluks yang dihasilkan. Semakin besar tekanan reaktor maka semakin besar pula fluks yang dihasilkan. Tekanan berfungsi sebagai *driving force* yang akan mempengaruhi proses pemisahan pada membran. Tekanan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan deformasi atau pelebaran pori membran yang menyebabkan peningkatan permeabilitas membran (Notodarmojo dan Deniva, 2004). Tekanan yang besar akan memperpanjang waktu pengoperasian reaktor karena *cake* hasil polarisasi konsentrasi yang terbentuk dan menumpuk di permukaan membran akan terus menerus oleh aliran dan larut kembali menjadi *rentetate*. Proses membran sendiri melibatkan umpan (*feed*) dan gaya dorong (*driving force*) akibat adanya perbedaan tekanan (ΔP), perbedaan konsentrasi (ΔC) dan perbedaan energi (ΔE). Membran merupakan upaya pemisahan yang sangat dipengaruhi oleh ukuran dan distribusi pori membran (Malleval, 1996).

Pada penelitian terdahulu telah dibuat membran dengan bahan baku kitosan saja dan zeolit saja. Dari hasil penelitian tersebut dapat dilihat perbandingan nilai fluks pada Tabel 4.24 dari hasil filtrasi membran komposit kitosan-zeolit dan membran kitosan dan zeolit saja. Limbah yang digunakan konsentrasinya 100% tanpa adanya pengenceran.

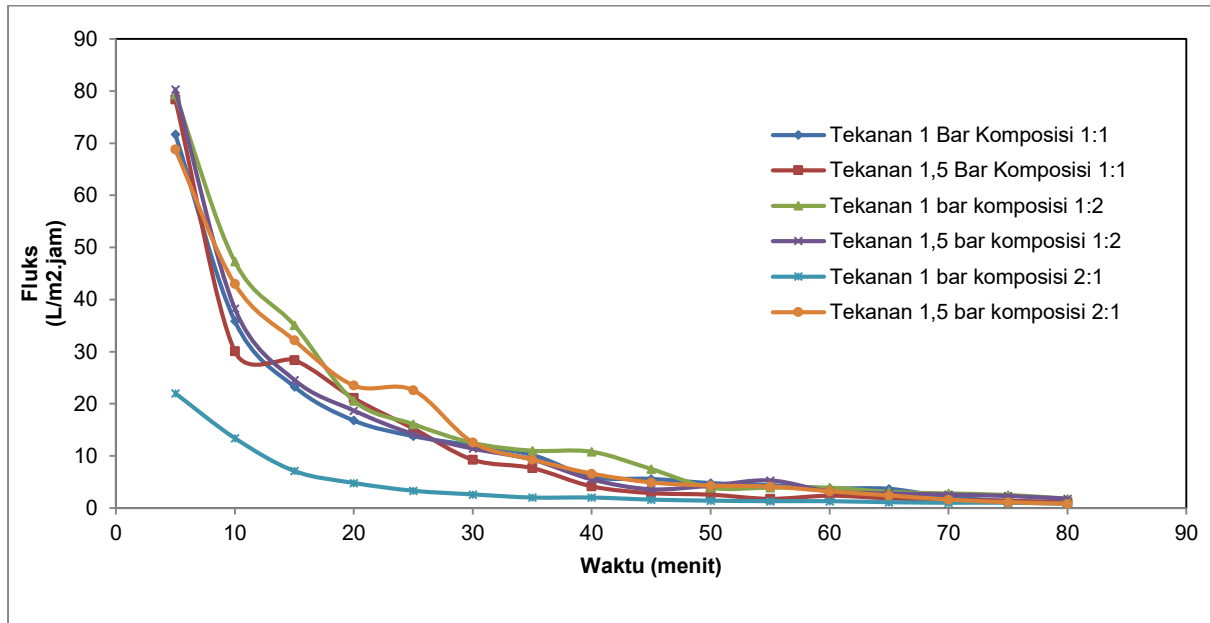
Dari ketiga bahan baku pembuatan membran yaitu kitosan, zeolit, dan komposit kitosan zeolit, membran zeolit menghasilkan fluks paling banyak yaitu 73.8 L/m².jam. Hal ini karena zeolit bersifat lebih porogen dan dengan adanya pengayakan zeolit dengan ukuran mesh lebih halus mampu memperbanyak pori-pori dari membran yang terbentuk dengan ukuran dan ikatan yang lebih renggang. Sedangkan kitosan sendiri memiliki pori atau ikatan yang lebih rapat sehingga fluks yang dihasilkan hanya 22 L/m².jam. Namun ketika kedua bahan dicampur fluks yang dihasilkan bervariasi dimana fluks terbesar yang dihasilkan tetap pada membran komposit kitosan zeolit 1:2 karena sifat zeolit sendiri yang mampu membuat pori lebih banyak ketika dimodifikasi.

Tabel 4.25 Perbandingan Fluks Membran Komposit

| Bahan Membran | Variasi | Nilai Fluks Awal(L/m ² .jam) | Sumber |
|------------------|---|---|---------------|
| Kitosan | Perbandingan konsentrasi PVA:Kitosan = 1:1 Pada limbah POME | 20.18 | Wahyuni, 2015 |
| Zeolit | Penambahan 3% silika untuk limbah POME | 73.8 | Sari, 2015 |
| Kitosan - Zeolit | Komposisi Kitosan Zeolit 1:1 tekanan 1 bar | 71.7 | Hasil analisa |
| | Komposisi Kitosan Zeolit 1:1 tekanan 1,5 bar | 78.4 | |
| | Komposisi Kitosan Zeolit 2:1 tekanan 1 bar | 22 | |
| | Komposisi Kitosan Zeolit 2:1 tekanan 1,5 bar | 68.8 | |
| | Komposisi Kitosan Zeolit 1:2 tekanan 1 bar | 79.3 | |
| | Komposisi Kitosan Zeolit 1:2 tekanan 1,5 bar | 80.3 | |

Tabel 4.26 Perbandingan Nilai Fluks pada Variasi Tekanan dan Komposisi

| Menit | Fluks Tekanan 1 bar Komposisi 1:1 (L/m².jam) | Fluks Tekanan 1,5 bar Komposisi 1:1 (L/m².jam) | Fluks Tekanan 1 bar Komposisi 2:1 (L/m².jam) | Fluks Tekanan 1,5 bar Komposisi 2:1 (L/m².jam) | Fluks Tekanan 1 bar Komposisi 1:2 (L/m².jam) | Fluks Tekanan 1,5 bar Komposisi 1:2 (L/m².jam) |
|--------------|--|--|--|--|--|--|
| 5 | 71.7 | 78.4 | 22 | 68.8 | 79.3 | 80.3 |
| 10 | 35.9 | 30.1 | 13.4 | 43 | 47.3 | 38.3 |
| 15 | 23.3 | 28.4 | 7.1 | 32.2 | 35.1 | 24.6 |
| 20 | 16.8 | 21.1 | 4.8 | 23.5 | 20.6 | 18.7 |
| 25 | 13.8 | 15.3 | 3.3 | 22.6 | 16.1 | 14.2 |
| 30 | 12 | 9.3 | 2.6 | 12.6 | 12.5 | 11.4 |
| 35 | 10.2 | 7.7 | 2 | 9.3 | 11 | 9.3 |
| 40 | 6 | 4.2 | 2 | 6.6 | 10.8 | 5.5 |
| 45 | 5.6 | 2.9 | 1.6 | 4.9 | 7.5 | 3.6 |
| 50 | 4.8 | 2.6 | 1.4 | 4.3 | 3.9 | 4.3 |
| 55 | 4.4 | 1.8 | 1.3 | 4.1 | 3.9 | 5.3 |
| 60 | 3.8 | 2.4 | 1.3 | 3.2 | 3.9 | 3.2 |
| 65 | 3.7 | 1.9 | 1.1 | 2.4 | 3.1 | 2.8 |
| 70 | 2.1 | 1.6 | 1 | 1.6 | 2.8 | 2.6 |
| 75 | 1.4 | 1.4 | 1 | 1.1 | 2.5 | 2.3 |
| 80 | 1.2 | 1.1 | 0.8 | 0.8 | 1.8 | 1.8 |

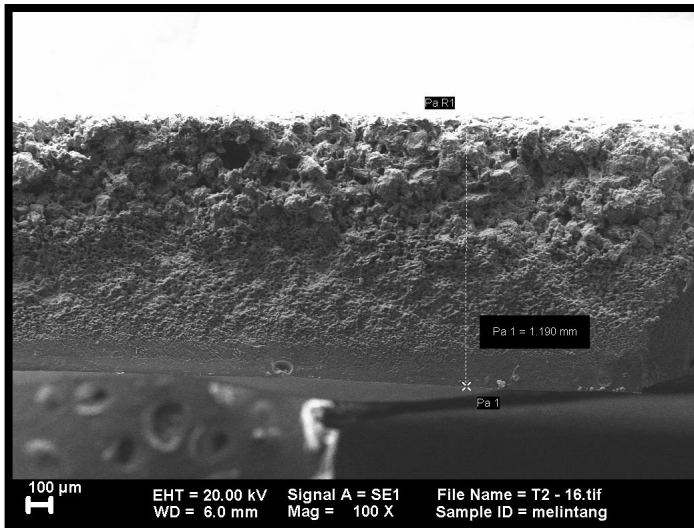


Gambar 4.9 Nilai Fluks pada Variasi Tekanan dan Komposisi

4.3 Karakterisasi Membran

4.3.1 Analisa Morfologi SEM

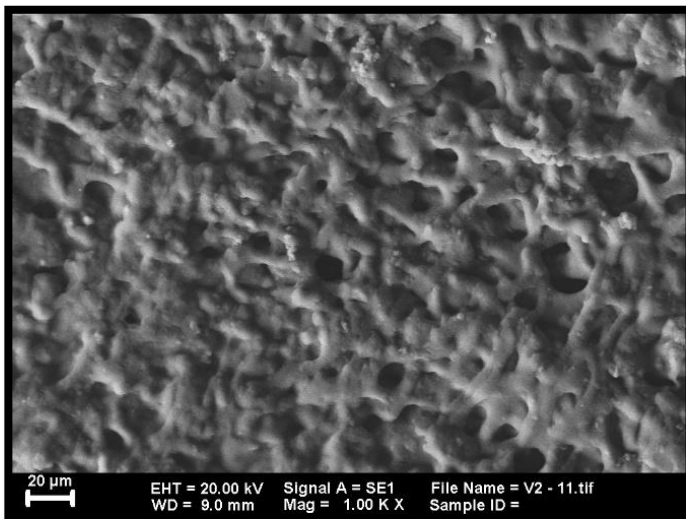
Hasil SEM menunjukkan ketebalan dari membran adalah 1,1 mm.



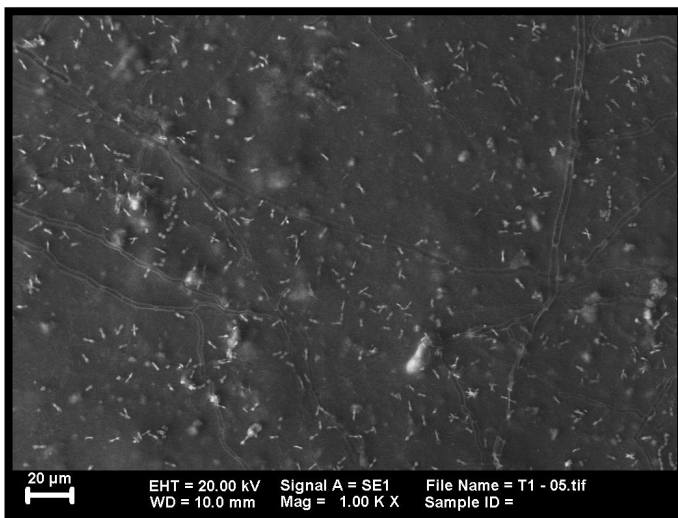
Gambar 4.10 SEM melintang dari membran

Membran yang telah digunakan untuk filtrasi akan mengalami penumpukan polutan pada permukaannya sehingga menyebabkan permukaan pori tertutup dan terjadi fouling.

Coating dilakukan pada membran sebelum diperbesar pada mikroskop SEM. Proses coating dilakukan dengan melapiskan emas murni pada membran yang berfungsi sebagai penghantar (Wahyuni, 2015).



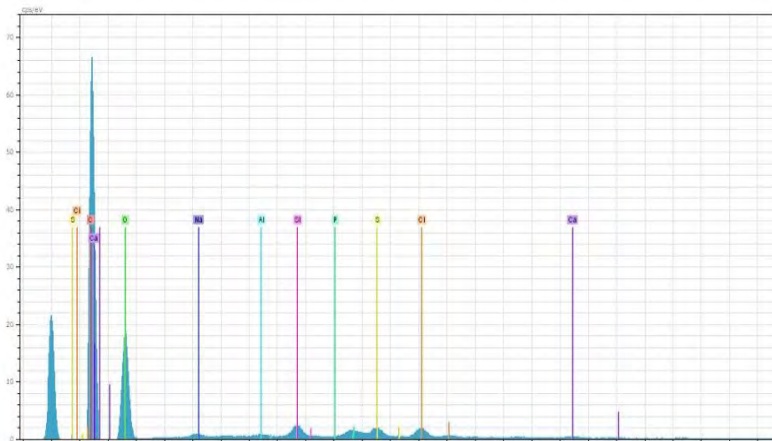
Gambar 4.11 Pori membran



Gambar 4.12 Membran setelah filtrasi

4.3.2 Analisis Kandungan Unsur Pada Membran dengan EDX

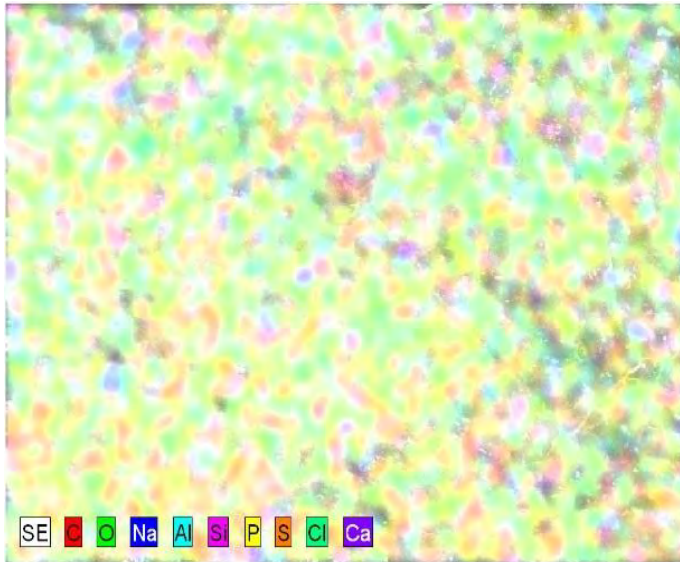
Hasil analisa EDX menunjukkan kandungan partikel yang tersaring oleh membran. Gambar 4.13 menunjukkan bahwa kandungan yang tersaring adalah 51,44% unsur C, 46,06% unsur O, 0,52% unsur Na, 0,11 % unsur Al, 0,45% unsur Si, 0,37% unsur P, 0,49% unsure S, dan 0,46% unsur Cl. Adanya kandungan unsur C, N, O menandakan banyaknya zat organik.



Gambar 4.13 EDX Membran

Tabel 4.27 Kandungan Unsur

| Atom | Nomor Atom | Kandungan (%) |
|------|------------|---------------|
| C | 6 | 51,44 |
| O | 8 | 46,06 |
| Na | 11 | 0,52 |
| Al | 13 | 0,11 |
| Si | 14 | 0,45 |
| P | 15 | 0,37 |
| S | 16 | 0,49 |
| Cl | 17 | 0,46 |
| Ca | 20 | 0,09 |



Gambar 4.14 Persebaran unsur yang tersaring

4.4 Pengaruh Membran yang dicuci terhadap Fluks

Salah satu kelebihan membran adalah bisa digunakan ulang dengan dilakukan pencucian. Pencucian membran merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi fouling pada membran (Greenlee *et al.*, 2009). Fouling yang terbentuk pada membran dapat dibedakan berdasarkan jenis *foulant*nya yaitu anorganik fouling atau scaling (CaCO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, fouling organik (protein, zat humic dan polisakarida), fouling koloid (inorganic koloid seperti silica, Fe_2O_3 dan logam berat) serta biofouling oleh mikroorganisme (Kochkodan and Hilal, 2015). Pada bahan pembuatan membran telah dicampurkan NH_4Cl yang berfungsi untuk menghilangkan mikroorganisme. Hal ini merupakan salah satu cara untuk mengurangi fouling karena mikroorganisme.

Tahap pencucian membran secara umum meliputi penghilangan foulan, pembilasan menggunakan air de-ion, pencucian satu tahap atau dua tahap, dan pembilasan

menggunakan air (Ang *et al.*, 2011). Larutan-larutan kimia yang umum digunakan dalam pencucian membran dikategorikan ke dalam 5 jenis, yaitu asam (asam sitrat, HCl), alkali (NaOH), *chelating agent* (EDTA, poliakrilat), surfaktan (SDS), dan enzim (protease, amilase) (Madaeni dan Samieirad, 2011).

Pencucian membran pada penelitian ini menggunakan aquades dan NaOH. NaOH tepat sebagai zat pembersih untuk bahan koloid anorganik dan foulant dari material organik (Scott, 2006). Berdasarkan penelitian Sulistyani dan Fitrianingtyas (2010), pencucian dengan NaOH mampu melarutkan fouling yang terbentuk pada permukaan pori membran ultrafiltrasi dan meningkatkan kembali laju alir permeat dari 15 L/jam menjadi 23 L/jam (setelah penyaringan air detergen). Penggunaan NaOH diindikasikan akan memutus ikatan partikel yang menempel pada pori.

Pada penelitian ini membran direndam dengan NaOH kemudian dibilas dengan aquades. Membran yang digunakan ulang setelah dicuci adalah membran dengan fluks tinggi yaitu pada komposisi kitosan-zeolit 1:2 dengan tekanan 1,5 bar. Hasil fluks setelah dicuci dapat dilihat pada Tabel 4.26, dari tabel dapat dilihat bahwa pada membran baru fluks yang dihasilkan 80,3 L/m².jam setelah dicuci, fluks kembali meningkat hingga 71,7 L/m².jam. Kemudian pada menit ke-40 membran dicuci kembali dan fluks meningkat hingga 61,2 L/m².jam.

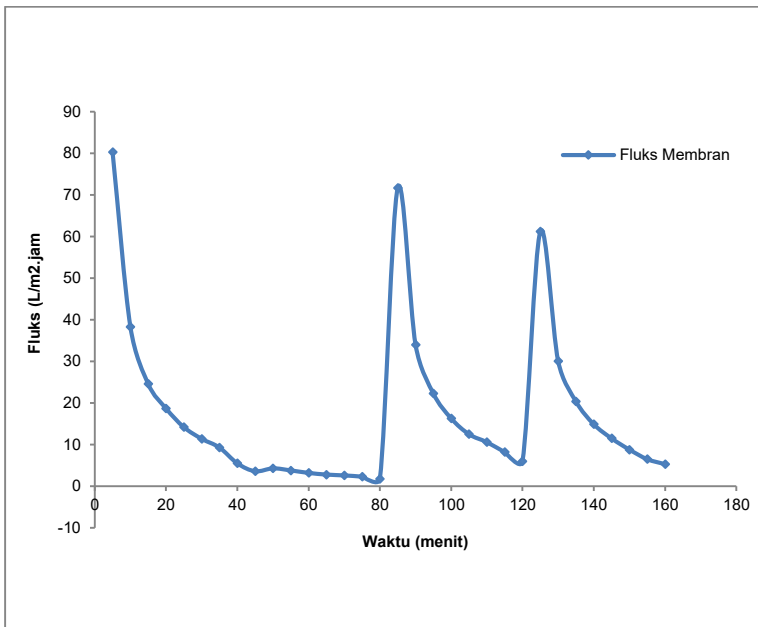
Meskipun pencucian mampu meningkatkan kembali fluks, tetapi fluks yang diperoleh tidak sebesar waktu operasi awal. Hal ini disebabkan karena pencucian tidak dapat membersihkan partikel – partikel yang tertangkap di dalam pori membran secara sempurna karena diduga adanya *irreversible fouling*. Fenomena ini menunjukkan pori membran mengalami penyempitan. Grafik kinerja membran setelah dicuci dapat dilihat pada Gambar 4.18.

Tabel 4.28 Fluks Membran Awal

| Menit Running | mL | Fluks L/m ² .jam. | Me nit | mL | Fluks L/m ² .jam. |
|---------------|-----|------------------------------|-----------|-----|------------------------------|
| Membran Baru | | | | | |
| 5 | 8,4 | 80,3 | 45 | 3.3 | 3.6 |
| 10 | 8 | 38,3 | 50 | 4.5 | 4.3 |
| 15 | 7,7 | 24,6 | 55 | 4.3 | 3.8 |
| 20 | 7,8 | 18,7 | 60 | 4 | 3.2 |
| 25 | 7,4 | 14,2 | 65 | 3.8 | 2.8 |
| 30 | 7,1 | 11,4 | 70 | 3.8 | 2.6 |
| 35 | 6,8 | 9,3 | 75 | 3.5 | 2.3 |
| 40 | 4,6 | 5,5 | 80 | 3 | 1.8 |

Tabel 4.29 Fluks Membran Dicuci

| Menit | Menit Hitung | mL | Fluks L/m ² .jam. | Menit | Menit Hitung | mL | Fluks L/m ² .jam. |
|----------------|--------------|-----|------------------------------|------------|--------------|-----|------------------------------|
| Membran Dicuci | | | | | | | |
| 85 | 5 | 7,5 | 71,7 | 125 | 5 | 6,4 | 61,2 |
| 90 | 10 | 7,1 | 34 | 130 | 10 | 6,3 | 30,1 |
| 95 | 15 | 7 | 22,3 | 135 | 15 | 6,4 | 20,4 |
| 100 | 20 | 6,8 | 16,3 | 140 | 20 | 6,2 | 14,9 |
| 105 | 25 | 6,5 | 12,5 | 145 | 25 | 6 | 11,5 |
| 110 | 30 | 6,6 | 10,6 | 150 | 30 | 5,5 | 8,8 |
| 115 | 35 | 6 | 8,2 | 155 | 35 | 4,7 | 6,5 |
| 120 | 40 | 5 | 6 | 160 | 40 | 4,4 | 5,3 |



Gambar 4.15 Fluks Membran Setelah Dicuci

Permeat membran setelah dicuci dianalisa kadar COD dan warnanya. Pada Tabel 4.28 dan 4.29 dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan rejeksi polutan dari membran yang dicuci. Hal ini disebabkan karena dengan adanya pencucian dengan NaOH, ikatan partikel polutan pada pori-pori permukaan membran lepas dan larut. Namun partikel polutan yang menempel pada pori-pori membran yang lebih dalam (*scaling*) sulit lepas, sehingga pori-pori dalam semakin sempit dan partikel polutan sulit menembus serta hanya menumpuk di permukaan membran. Proses inilah yang menyebabkan selektivitas membran menjadi tinggi.

Tabel 4.30 Rejeksi COD Setelah Membran Dicuci

| Rejeksi Membran Baru | |
|-----------------------------|--------|
| COD Sebelum Filtrasi (mg/L) | 16657 |
| COD Setelah Filtrasi (mg/L) | 9474 |
| Rejeksi | 43,20% |
| Rejeksi Membran Dicuci | |
| COD Sebelum Filtrasi (mg/L) | 17750 |
| COD Setelah Filtrasi (mg/L) | 9570 |
| Rejeksi | 46,08% |

Tabel 4.31 Rejeksi Warna Setelah Membran Dicuci

| Rejeksi Membran Baru | |
|--------------------------------|--------|
| Warna Sebelum Filtrasi (Pt-co) | 7550 |
| Warna Setelah Filtrasi (Pt-co) | 1600 |
| Rejeksi | 78,67% |
| Rejeksi Membran Dicuci | |
| Warna Sebelum Filtrasi (Pt-co) | 7600 |
| Warna Setelah Filtrasi (Pt-co) | 1550 |
| Rejeksi | 79,61% |

LAMPIRAN A

- **Tahap Pembuatan Membran**

- **Bahan dan alat**

1. Serbuk kitosan dengan derajat deasetilasi 95%
2. Serbuk zeolit
3. Larutan Asam Asetat 1%
4. Larutan NH_4Cl
5. *Poly Vinyl Alcohol* (PVA)
6. *Poly Ethylen Glykol* (PEG)
7. Hot plate stirrer
8. Beaker glass 250 mL
9. Cawan petri
10. Pengaduk kaca

- **Proses Aktivasi Zeolit**

1. Zeolit dihancurkan dengan *ball milling* dan diayak 200 mesh.
2. Zeolit direndam dengan larutan HCl 15% selama 24 jam untuk menghilangkan zat pengotor, kemudian di bilas air dan di oven selama 24 jam untuk menghilangkan kandungan air dan di desikator selama 15 menit untuk menyesuaikan dengan suhu normal.
3. Pasir zeolit yang sudah kering digerus sampai halus dan ditimbang sesuai variasi.
4. Larutan NH_4Cl ditambahkan pada zeolit bubuk yang telah ditimbang sebanyak 100 mL kemudian distirrer.
5. Endapan zeolit diambil.

LAMPIRAN A (Lanjutan)

- **Tahap Pembuatan Membran**

1. Kitosan ditimbang sebanyak 5 gram. Kitosan dibuat tetap 5 gram sedangkan zeolit yang berubah ubah sesuai variasi. Kitosan dilarutkan dalam 100 mL asam asetat 1% dengan *magnetic stirrer*.
2. Kitosan yang telah larut dicampur dengan endapan zeolit pada aktivasi zeolit sebelumnya. Larutan kitosan zeolit diaduk dengan hot plate stirrer dengan kecepatan 600 rpm dan dibantu alat sonikasi.
3. PVA ditimbang sebanyak 50 gram dan dilarutkan dalam aquades mendidih sebanyak 250 mL kemudian dibiarkan dingin.
4. PVA ditambahkan sebanyak 50 mL ke dalam larutan kitosan-zeolit yang sedang distirrer dan disonikasi.
5. Ditambahkan juga PEG sebanyak 25 mL.
6. Larutan diaduk hingga mengental dan bercampur selama 30 menit. Larutan dibiarkan hangat.
7. Larutan membran diambil dengan suntikan sebanyak 25 mL dan dituang kedalam cawan petri untuk dicetak
8. Membran dibiarkan kering dalam oven dengan suhu 90°C selama 24 jam.
9. Membran yang telah jadi dilepas dari cetakan.

LAMPIRAN B

- **Prosedur Analisa *Chemical Oxygen Demand* (COD)**
- **Bahan dan alat**
 1. Larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$)
 2. Kristal perak sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan asam sulfat (H_2SO_4)
 3. Larutan Standart Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,0125 N
 4. Larutan Indikator Fenantrolin Fero Sulfat (feroin)
 5. Buret 50 ml Erlenmeyer COD
 6. Pipet 10 ml Beaker glass 10 ml
- **Pembuatan Reagen**
 1. Larutan $K_2Cr_2O_7$ 0,1 N

Timbang dengan teliti 4,9036 gram $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan di oven. Larutkan dengan aquades hingga 1L menggunakan labu pengencer 1L.
 2. Larutan Fero Amonia Sulfat (FAS) 0,1 N

Timbang dengan teliti 39,2 gram $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$. kemudian tambahkan dengan 8 mL H_2SO_4 pekat. Encerkan dengan aquades hingga 1L menggunakan labu pengencer 1L.
 3. Larutan Campuran Asam ($AgSO_4$)

Larutkan 10 gram Ag_2SO_4 ke dalam 1L H_2SO_4 hingga larut sempurna
 4. Larutan Indikator Feroin

Larutkan 1,485 gram Orthophenanthroline dan 0,695 gram $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.
- **Prosedur Percobaan**

Metode analisis COD dilakukan dengan menggunakan prinsip closed reflux metode titrimetrik berdasarkan Greenberg et al, (2005), seperti berikut :

 1. Disiapkan sampel air limbah yang akan dianalisa kadar CODnya.
 2. Diambil 1 mL sampel kemudian diencerkan sampai 100x

LAMPIRAN B (Lanjutan)

3. Tuangkan 1 ml air sampel dan 1 ml aquadest (sebagai blanko) ke dalam masing-masing erlenmeyer COD
4. Ditambahkan 1,5 ml larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N
5. Ditambahkan 3,5 ml larutan campuran asam H_2SO_4 dan Ag_2SO_4
6. Alat pemanas dinyalakan dan diletakkan tabung COD pada rak tabung COD di atas alat pemanas selama 2 jam
7. Setelah 2 jam, alat pemanas diamtikan dan tabung COD dibiarkan hingga dingin
8. Ditambahkan 1 tetes indikator ferroin
9. Sampel di dalam tabung COD dipindahkan ke dalam Erlenmeyer kemudian dititrasi menggunakan larutan standar FAS 0,0125 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah coklat bata permanen selama 1 menit
10. Hitung COD sampel dengan rumus berikut

$$COD \left(\frac{mg}{L} O_2 \right) = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{vol. sampel} \times F \times p$$

Dimana:

- a = mL FAS titrasi blanko
- F = faktor (20: titran blanko kedua)
- b = mL FAS titrasi sampel
- p = pengenceran
- N = normalitas larutan FAS

LAMPIRAN C

- **Prosedur Analisa Warna secara Spektrofotometri**

- **Bahan dan alat**

1. Air bebas mineral
2. Kaliumheksakloroplatinat (K_2PtCl_6)
3. Kobal klorida ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$)
4. Asam klorida (HCl)
5. Natrium hidroksida (NaOH)
6. Spektrofotometer
7. Kuvet dengan panjang (*path length*) minimal 2,5 cm
8. Labu ukur 100,0 mL
9. Pipet volumetrik 1,0 mL; 2,0 mL; 3,0 mL; 4,0 mL; 5,0 mL; dan 10,0 mL
10. Gelas piala
11. Kertas saring dengan ukuran pori 0,45 μm
12. Timbangan analitik dengan ketelitian 0,1 mg

- **Pembuatan Larutan Induk Pt-Co**

Larutkan 1,246 g kaliumheksakloroplatinat, K_2PtCl_6 dan 1,00g kobal klorida $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ dengan 100 mL HCl pekat ke dalam labu ukur 1000mL dan encerkan dengan air bebas mineral hingga 1000 mL. Larutan induk Pt-Co ini mempunyai nilai warna 500 unit Pt-Co.

- **Pembuatan Larutan Kerja**

1. Buat deret larutan kerja dari larutan induk warna 500 Unit Pt-Co dengan 1 (satu) blanko dan minimal 3 kadar yang berbeda secara proporsional yang berada pada rentang pengukuran.
2. Lindungi larutan baku dari penguapan dan kontaminasi ketika larutan tidak dipakai
3. Simpan dalam kondisi gelap bila tidak digunakan dan penyimpanan hanya untuk 1 bulan

LAMPIRAN C (Lanjutan)

- **Pembuatan kurva kalibrasi**

Kurva kalibrasi dibuat dengan tahapan sebagai berikut:

1. Hidupkan alat dan optimalkan alat uji spektrofotometer sesuai petunjuk penggunaan alat untuk pengujian warna;
2. Pilih panjang gelombang dengan serapan maksimum diantara 450 nm dan 465 nm;
3. Ukur serapan masing-masing larutan kerja yang telah dibuat, kemudian catat dan plotkan terhadap unit Pt-Co
4. Buat kurva kalibrasi dari data pada butir di atas dan tentukan persamaan garis lurusnya
5. Jika koefisien korelasi regresi linier (r) $< 0,995$, periksa kondisi alat dan ulan sampai dengan hingga diperoleh nilai koefisien $r \geq 0,995$

- **Pengukuran contoh uji**

Uji warna dengan tahapan sebagai berikut:

1. Ukur serapan contoh uji pada panjang gelombang dengan serapan maksimum yang telah ditentukan
2. Hitung nilai unit warna dari kurva kalibrasi.

$$\text{Warna, unit Pt-Co} = C \times f_p$$

Keterangan:

C adalah nilai yang didapat dari kurva kalibrasi, dinyatakan dalam unit Pt-Co

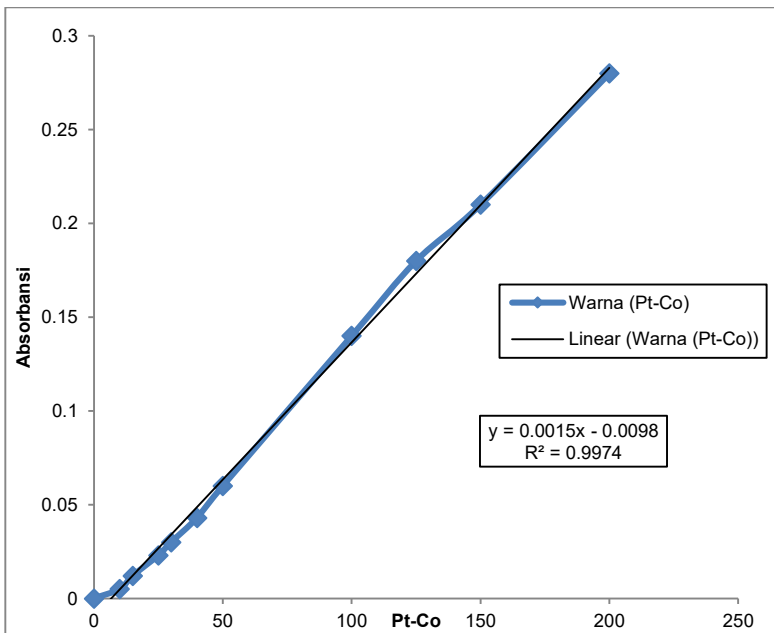
f_p adalah faktor pengenceran.

LAMPIRAN C (Lanjutan)

Tabel 4.32 Hasil Kalibrasi Warna

| Pt-co | mL larutan stock | mL penambahan aquades | Absorbansi |
|--------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1 | 49 | 0.005 |
| 15 | 1.5 | 48.5 | 0.012 |
| 25 | 2.5 | 47.5 | 0.023 |
| 30 | 3 | 47 | 0.03 |
| 40 | 4 | 46 | 0.043 |
| 50 | 5 | 45 | 0.06 |
| 100 | 10 | 40 | 0.14 |
| 125 | 12.5 | 37.5 | 0.18 |
| 150 | 15 | 35 | 0.21 |
| 200 | 20 | 30 | 0.28 |

Dari hasil spektrofotometri didapat nilai absorbansi pada setiap larutan kerja. Dari data tersebut dibuat grafik dan diambil trendline dan rumusnya sehingga dapat digunakan untuk menghitung kada warna pada sampel air limbah pewarnaan batik.



Gambar 4.16 Kurva kalibrasi Warna

LAMPIRAN D

- **Perhitungan Nilai Fluks**

- Perhitungan nilai fluks untuk tiap variasi membran menggunakan rumus :

$$J = \frac{v}{A \times t}$$

Dengan : J = nilai fluks (L/m².jam)

V = volume *permeate* (L)

A = luas permukaan membran (m²)

t = waktu (jam)

- Contoh perhitungan :

Nilai fluks pada variasi komposisi 1:2 dan tekanan 1,5 bar pada menit ke 5

Volume *permeate* = 8.4 mL = 0,0084 L

Luas permukaan (A) = 3,14 x 2 cm x 2 cm

= 12,56 cm² = 0,001256 m²

Waktu (t) = 5 menit = 0,833 jam

J(Fluks) = $\frac{v}{A \times t} = \frac{0,0084 \text{ L}}{0,001256 \text{ m}^2 \times 0,833 \text{ jam}}$

= 80,3L/m².jam

LAMPIRAN E

- **Perhitungan Koefisien Rejeksi**

- Perhitungan nilai rejeksi untuk tiap variasi membran menggunakan rumus :

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\%$$

Dengan : R = nilai rejeksi (%)

C_p = konsentrasi zat terlarut dalam *permeate*

C_f = konsentrasi zat terlarut dalam umpan

- Contoh perhitungan :

Rejeksi Warna pada variasi komposisi 2:1 dan tekanan 1 bar pada menit ke 5

Konsentrasi *permeate* (C_p) = 1000 Pt-co

Konsentrasi umpan (C_f) = 9570 Pt-co

Nilai rejeksi (R) = $\left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\%$
= $\left(1 - \frac{1000}{9570}\right) \times 100\%$
= 89,55%

LAMPIRAN F



Zeolit Hasil Ayakan



Serbuk Kitosan



Poly Vinyl Alcohol (PVA)



Poly Ethylen Glykol (PEG)



Membran Tercetak



Reagen COD

LAMPIRAN F (Lanjutan)



Reagen COD



Sampel COD



Sebelum dan sesudah filtrasi Membran

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

- a. Nilai rejeksi tertinggi untuk parameter warna dihasilkan pada variasi komposisi kitosan-zeolit 2:1 dengan tekanan 1 bar yaitu 94,71% dan 93,17% pada tekanan 1,5 bar. Pada variasi komposisi kitosan-zeolit 1:1 dihasilkan rejeksi 89,31% pada tekanan 1 bar dan 79,87% pada tekanan 1,5 bar. Sedangkan komposisi kitosan-zeolit 1:2 menghasilkan rejeksi 84,77% pada tekanan 1 bar dan 79,19% pada tekanan 1,5 bar.
Nilai rejeksi tertinggi untuk parameter COD dihasilkan pada variasi komposisi kitosan-zeolit 2:1 dengan tekanan 1 bar yaitu 98,59%. Pada variasi komposisi kitosan-zeolit 1:1 dihasilkan rejeksi 52,65% pada tekanan 1 bar dan 53,6% pada tekanan 1,5 bar. Sedangkan komposisi kitosan-zeolit 1:2 menghasilkan rejeksi 52,5% pada tekanan 1 bar dan 43,2% pada tekanan 1,5 bar.
- b. Nilai fluks yang tertinggi dihasilkan oleh komposisi kitosan-zeolit 1:2 yaitu sebesar 80,3 L/m².jam pada tekanan 1,5 bar. Pada komposisi kitosan-zeolit 1:2 tekanan 1 bar dihasilkan fluks 79,3 L/m².jam. Sedangkan komposisi kitosan-zeolit 1:1 menghasilkan nilai fluks 78,4 L/m².jam pada tekanan 1,5 bar dan 71,7 L/m².jam pada tekanan 1 bar. Pada komposisi kitosan-zeolit 2:1 menghasilkan nilai fluks 68,8 L/m².jam pada tekanan 1,5 bar dan 22 L/m².jam pada tekanan 1 bar.
- c. Komposisi kitosan dan zeolit yang mampu meremoval warna dan COD paling baik adalah pada komposisi 2:1 dengan tekanan reaktor 1 bar.

5.2 Saran

1. Berdasarkan nilai COD dan warna hasil aplikasi filtrasi yang masih di atas baku mutu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan kombinasi treatment lain sebelum perlakuan filtrasi menggunakan membran (pretreatment).
2. Perlu dilakukan penelitian mengenai metode yang dapat digunakan untuk proses pencucian sehingga *foulant* pada permukaan membran mampu dihilangkan dan membran dapat digunakan kembali dalam waktu yang lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Ang W. S., Tiraferri A, Chen K.L., Elimelech M. **Fouling and cleaning of RO membranes fouled by mixtures of organic foulants: Simulating wastewater effluent.** Journal of Membrane Science 2011; 376: 196–206.
- Arifiani, N. 2012. **Sintesis Membran Kitosan-Silika dan Aplikasinya Untuk Filtrasi Air Sadah.** Skripsi Jurusan Kimia FMIPA UNNES.
- Awaluddin, R., Darah, S., Ibrahim C. D., dan Uyub A. M. 2001. **Decolorization of Commercially Available Synthetic Dyes by The White Rot Fungus Phanerochaete Chrysosporium.** Fungi and Bactery 62, 55-63.
- Bokau, N. S. 2013. **Sintesis Membran Kitosan Termodifikasi Silika Abu Sekam Padi untuk Proses Dekolorisasi.** Skripsi. UNDIP.
- Chatterjee, S., Chatterjee, B., Guha, P., and Arun, K. 2007. **Adsorptive Removal of Congo Red, A Carcinogenic Textile Dye by Hydrobeads: Binding Mechanism, Equilibrium and Kinetics.** Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng. Aspects 299, 146–152.
- Chatterjee, S., Dae S.Lee., Min W.Lee., Seung H.Woo. 2009. **Congo Red Adsorption from Aqueous Solution by Using Chitosan Hydrogel Beads Impregnated With Nanoionic Surfactant.** Bioresource Technology. No. 100: 3862-3868.
- Chelme, A. P., Smith, D. W., dan El-Din, M. G. 2009. **Membrane Concentrate Management Options: A Comprehensive Critical Review.** Jurnal Civil Engineering. 36, 1107-1119.
- Chen, F., Luo, G., Wang, Y. J. 2004. **Preparation of Polysulfone-Coated Chitosan Beads by Emulsion Phase-Inversion Method.** Journal of Applied Polymer Science Impact Factor 91, 3542 - 3548.
- Cui, Z. F., and Muralidhara, H. S. 2010. **Membran Technology : A Practical Guide to Membran Technology and Applications in Food and Bioprocessing.** India.

- Dewi, Y. S. 2011. **Efektivitas Filtrasi Membran Selulosa dalam Pengelolaan Limbah Tekstil**. Skripsi. Jakarta : Universitas Satya Negara Indonesia.
- Dimiyadi, F., Lutfi, Mustofa., dan Nugroho, W. A. 2014. **Rancang Bangun Alat Pemurni Minyak Atsiri Daun Berbasis Membran Kitosan – Selulosa**. Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem 2 , 21-27.
- Ertan, A. 2005. **CO₂ and N₂ Adsorption on the Acid (HCl, HNO₃, H₂SO₄, and H₃PO₄) Treated Zeolites**. Adsorption. Vol 11, 151-156.
- Faibish R.S dan Cohen Y, 2001. **Fouling and Rejection Behavior of Ceramic and Polymer-Modified Ceramic Membrans for Ultrafiltration of Oil in Water Emulsion and Microemulsions**. Departmen of Chemical Engineering, University of California, Los Angeles, CA 90095-1592, USA, Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects 191, p.27-40, Elsevier.
- Farha, I. F. dan Kusumawati, N.. 2012. **Pengaruh PVA Terhadap Morfologi dan Kinerja Membran Kitosan dalam Pemisahan Pewarna Rhodamin-B**. Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa 2012 – ISBN : 978-979-028-550.
- Greenlee L. F, Lawler D. F, Freeman B. D, Marrot B, Moulin P. **Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges**. Water Research 2009; 43:2317-2348.
- Hale, A. J. 1986. **Chitin as a Raw Material For Product Development**. Applied Biotechnology World Biotech Report 1.
- Hadiwidodo, M., Setyo, H., dan Indrasarimmawati. 2009. **Penurunan Warna, COD, dan TSS Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Teknologi Dielectric Barrier Discharge dengan Variasi Tegangan dan Flow Rate Oksigen**. Jurnal Presipitasi 7.
- Handayani, E. 2009. **Sintesa Membran Nanokomposit Berbasis Nanopartikel Biosilika Dari Sekam Padi Dan Kitosan Sebagai Matriks Biopolimer**. Makalah Penelitian IPB: Bogor.

- Handoko, D. 2006. **Mekanisme Reaksi Konversi Katalitik Jelantah Menjadi Senyawa Fraksi Bahan Bakar Cair dengan Katalis Ni/H₅-NZA dan Reaktor Flow Fixed-Bed.** Jurnal ILMU DASAR 7 (I) : 42-51.
- Herman, S. 2013. **Penanggungan Irreversible Fouling Membran Ultrafiltrasi Selulosa Asetat Pada Proses Penyisihan Kurkumin (Zat Warna).** Skripsi. UNRI.
- Irvantino, B. 2013. **Preparasi Katalis Ni/zeolit alam dengan Metode Sonokimia untuk Perengkahan Katalitik Polipropilen dan Polietilen.** Skripsi. Universitas Negeri Semarang.
- Kaminski, W., dan Modrzejewska, Z. 1997. **Application of Chitosan Membranes in Separation of Heavy Metal Ions.** Separations Science and Technology 32, 2659-2668.
- Kusumawati, N dan Tania, S. 2012. **Pembuatan dan Uji Kemampuan Membran Kitosan sebagai Membran Ultrafiltrasi untuk Pemisahan Zat Warna Rhodamin B.** J. Molekul, Vol. 7. No. 1. Mei, 2012: 43 - 52 44
- Kochkodan, V., dan Hilal, N. **A Comprehensive Review On Surface Modified Polymer Membranes for Biofouling Mitigation.** J. Desalination 356 (2015) 187–207
- Kurniasih, M., dan Kartika, D. 2011. **Sintesis dan Karakterisasi Fisika – Kimia Chitosan.** Jurnal Inovasi 5, 42-48.
- Krisbergsson, K. 2003. **Recent Developments in Deacetylation of Chitin and Possible Applications in Food Formulations.** Publikasi Presentasi Power Point Online diakses pada tanggal 5 Maret 2016.
- Lestari, N. D. dan Agung, T. 2013. **Penurunan TSS dan Warna Limbah Industri Batik Secara Elektrokoagulasi.** Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol. 6 No. 1.
- Li, Y. C., Chu, C. Y., Wu, S. Y., Tsai, C. Y., Wang, C. C., Hung, C. H., dan Lin, C. Y. 2012. **Feasible Pretreatment of Textile Wastewater for Dark Fermentative Hydrogen Production.** International Jurnal Hydrogen Energy 37, 15511-15517.
- Liu, J., Xin, Shao, & Zhou. 2003. **Preparation and Characterization of Chitosan / Cu (II) Affinity Membran for Urea Adsorption.** Inc. J.Appl Polyn Sci.Vol.90 No.7: 1108-1112

- Madaeni, S.S. dan Samieirad, S. **Chemical celaning of reverse osmosis membrane fouled by wastewater.**Desalination 2010; 257:80-86
- Mallack, H. M., dan Anderson, G. K. 1997. **Cross-flow Microfiltration with Dynamic Membrans.** Journal Water Research 31.
- Mallevialle, J. 1996. **Mass Transport and Permeate Flux and Fouling in Pressure-Driven Processes.** Water Treatment membrane Processes,p4,1-4.28. McGraw-Hill, New York.
- McLeary, E. E., Jansen, J. C., dan Kapteijn, F. 2006. **Zeolite Based Films, Membranes and Membrane Reactors: Progress and Prospects.** Microporous and Mesoporous Materials 90, 198–220.
- Milisic, V. 1996. **Antifouling Techniques in Crossflow Microfiltration.** Journal of Membran Science.
- Moattar, F., dan S. Hayeripour. 2006. **Application of Chitosan and Zeolite Adsorbents for Treatment of Low Level Radioactive Liquid Wastes.** International Journal of Environmental Science & Technology 1.
- Mulder, M. 1996. **Basic Prinsiple of Membran Technology. 2nd edition.** Netherlands : Kluwer Academic Publisher.
- Muliawati, E. C. 2012. **Pembuatan dan Karakterisasi Membran Nanofiltrasi untuk Pengolahan Air.** Skripsi UNDIP.
- Muthawali, D. I. 2011. **Analisa COD dari Campuran Limbah Domestik dan Laboratorium di Balai Riset dan Standarisasi Industri Medan.** Skripsi. Universitas Sumatera Utara.
- Nawawi, M. G., dan Hassan, H. 2003. **Pervaporation Separation of Isopropanol-water Mixtures using Crosslinked Chitosan Membranes .**Jurnal Teknologi 39, 55-64.
- Nisa K. 2005. **Karakteristik fluks membrane kitosan termodifikasi Poli(Vinil Alkohol) dengan variasi poli(etilena glikol) sebagai porogen.** Skripsi. Departemen Kimia IPB.
- Nugroho, A. S. dan Damayanti A. 2013. **Uji Kinerja Membran Nanofiltrasi Zeolit untuk Menapis Nitrat dan Amonium Air Limbah Produksi Tahu.** J. Purifikasi. 106-117.
- Nugroho, R., dan Ikbali. 2005. **Pengolahan Air Limbah Berwarna Industri Tekstil denganProses AOPs.** Jakarta

- : Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan(BPPT).
- Notodarmojo, S dan Deniva A. 2004. **Penurunan Zat Organik dan Kekeruhan Menggunakan Teknologi Membran Ultrafiltrasi dengan Sistem Aliran Dead End**. Departemen Teknik Lingkungan. FAKultas Teknik Sipil dan Lingkungan. ITB. PROC. ITB Sains dan Tek. Vol 36 A. No 2.2004.63-82
- Osada., and Nakagawa. 1992. **Membran Science and Technology**. New York : Marcel Dekker Inc.
- Pemerintah Republik Indonesia Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 51 MENLH Tahun 1995 **Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan / atau Kegiatan Usaha Lainnya: Industri Tekstil**.
- Pemerintah Republik Indonesia Peraturan Gubernur Jawa Timur No 72 Tahun 2013 **Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan / atau Kegiatan Usaha Lainnya : Industri Tekstil**.
- Prameswari, Tania. 2013. **Sintesis Membran Kitosan-Silika Abu Sekam Padi untuk Dekolorisasi Zat Warna Congo Red**. Skripsi. UNESA
- Pramitasari, N. 2015. **Pemanfaat Membran Zeolit-Silika dalam Penurunan TSS, COD, dan Warna Limbah Batik**.Thesis. ITS
- Pratama, H. A., Damayanti, A., dan Soedjono, E. S. 2014. **Nano Filtration Batik Waste Water Treatment Performing Test using nano Filtration Membrane**. International Journal of Academic Research 6, 272-274.
- Pratomo, H. 2003. **Pembuatan dan Karakterisasi Membran Komposit Polisulfon Selulosa Asetat untuk Proses Ultrafiltrasi**. Skripsi.Yogyakarta : FMIPA UNY.
- Prayitno, H. 2006. **Pengaruh Pasokan Limbah Cair Tekstil PT. Batik Keris Sukoharjo Terhadap Perubahan Suhu, pH, DO, BOD, NO3, Ca, Mg, dan Plankton di Sungai di Premulung Surakarta**. Skripsi. Surakarta : Universitas Sebelas Maret
- Poerwadio, A. D. dan Masduqi, A. 2004.**Penurunan Kadar Besi oleh Media Zeolit Alam Ponorogo secara Kontinyu**. Jurnal Purifikasi, Vol. 5, No. 4, 169 – 174.

- Porcelli N. dan Judd S.. **Chemical cleaning of potable water membranes: A review. Separation and Purification Technology** 2010; 71: 137–143
- Purwaningsih, I. 2008. **Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Cv.Batik Indah Raradjonggrang Yogyakarta dengan Metode Elektrokoagulasi Ditinjau dari Parameter COD dan Warna**. Skripsi. Yogyakarta : UII.
- Rahmacandran, G. P., dan Hariharan, S. 2010. **Decolorization of Textile Effluent-An Overview**. Environmental Jurnal 90.
- Rifaid, M. N. 2002. **Status Pengembangan Sains Dan Teknologi Membran di Indonesia**. Buletin Limbah 7.
- Ronaldo, R. 2008. **Zeolit Alam dan Kitosan sebagai Adsorben Catalytic Converter Monolitik untuk Pereduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor**. Skripsi. IPB.
- Sari, T. K. 2014. **Pengolahan Limbah Laundry Menggunakan Membran Nanofiltrasi Zeolit Aliran Cross Flow untuk Filtrasi Kekeruhan dan Fosfat**. Skripsi.Surabaya : ITS.
- Sari, T. K. 2015. **Filtrasi Limbah Cair Kelapa Sawit dengan Membran Zeolit-Silika untuk Menurunkan BOD, COD dan TSS**. Thesis. ITS.
- Sastrawidana, I. D. K., Lay, B. W., Fauzi, A. M., dan Santosa, D. A. 2004. **Pengolahan Limbah Tekstil Sistem Kombinasi Anaerobik – Aerobik Menggunakan Biofilm Bakteri Konsorsium dari Lumpur Limbah Tekstil**. Jurnal Teknik, 55-60.
- Scott, J. B. 2006. **Oil Removal for Produced Water Treatment and Micellar Cleaning of Ultrafiltration Membranes**. Texas A&M University, Thesis.
- Septiani, N. M. 2013. **Sintesis Senyawa Antimikroba Dihidropirimidinon melalui Reaksi Siklokondensasi Biginelli Menggunakan Katalis Zeolit Alam**. Skripsi . UNS.
- Shan, W., Zhang, Y., Yang, W., Ke, C., Gao, Z., Ye, Y., dan Tang, Y., 2004. **Electrophoretic Deposition Of Nanosized Zeolites In Non-Aqueous Medium And Its Application In Fabricating Thin Zeolite Membranes**. Microporous and Mesoporous Material 69, 35–42.

- Srihapsari, D. 2006. **Penggunaan Zeolit Alam yang telah Diaktivasi dengan Larutan HCl Untuk Menjerap Logam-logam Penyebab Kesadahan Air**. Thesis. Universitas Negeri Semarang.
- Sulistiyani, E dan Fitrianingtyas, M. 2010. **Pengendalian Fouling Membran Ultrafiltrasi dengan Sistem Automatic Backwash dan Pencucian Membran**. Skripsi. UNDIP
- Suprihatin, H. 2014. **Kandungan Organik Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo dan Alternatif Pengolahannya**. Riau : Pusat Penelitian Lingkungan Hidup.
- Syarfi., & Syamsu, H. 2007. **Rejeksi Zat Organik Air Gambut Dengan Membran Ultrafiltrasi**. Jurnal Sains dan Teknologi 6(1) 1-4.
- Sulaeman. 2004. **Manfaat Penerapan Produksi bersih pada Industri Batik**. Majalah : Mitra Lingkungan. Jakarta. Edisi September 2004.
- Suseno, N., Adiarto, T., dan Atie, S. 2003. **Sintesis Dan Optimasi Membran Selulosa Asetat pada Proses Mikrofiltrasi Bakteri**. Agustus 2003, Vol. 11 no.2.
- Susilo, S.A.D. 2013. **Dinamika Industri Batik Gumelem Kecamatan Susukan Kabupaten Banjarnegara Tahun 1998-2007**. Skripsi. UNS
- Tolaimatea, A., Desbrieresb, J., Rhazia, M., dan Alaguic, A. 2003. **Contribution to the Preparation of Chitins and Chitosans with Controlled Physico-Chemical Properties**. Jurnal Polym 4, 7939–7952.
- Verma, A. K., Dash, R., dan Bhunia, P. 2012. **A Review on Chemical Coagulation/Flocculation Technologies for Removal of Colour From Textile Wastewaters**. Jurnal Environmental, 154–168.
- Wang, J., Zheng, X., Wu, H., Zheng, B., Jiang, Z., Hao, X., dan Wang, B. 2007. **Effect of Zeolite on Zeolite Hybrid Membranes for Direct Methanol Fuel Cell**. Journal of Power Science 178, 9-19.
- Wahyuni, S. 2015. **Studi Pembuatan dan Penggunaan Membran Chitosan Sebagai Membran Ultrafiltrasi Dalam Pengolahan Limbah POME**. Thesis. ITS.
- Wenten, I. G. 2000. **Teknologi Membran Industrial**. Bandung : Penerbit ITB.

- Windayanti, N. 2013. **Karakterisasi Membran Selulosa Asetat dengan Vaiasi Komposisi Pelarut Aseton dan Asam Format**. Skripsi. Universitas Jember.
- Wu, H., Zheng, B., Zheng, X., Wang, J., Yuan, W., dan Jiang, Z. 2007. **“Surface Modified Zeolite Filled Membrane for Direct Methanol Fuel Cell”**. Journal of Power Science 173, 842-852.
- Yuan, W., Wu, H., Zheng, B., Zheng, X., Wang, J., dan Hao, Z. 2007. **Sorbitol-Plasticized Zeolit Hybrid Membrane for Direct Methanol Fuel Cell**. Journal of Power Science 172, 604-612.
- Yuanita, D. 2010. **Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara**. Jurdik Kimia UNY.
- Yulianto, A., Hakim, L., Purwaningsih, I., dan Pravitasari, V. A. 2009. **Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Pada Skala Laboratorium dengan Menggunakan Metode lektrokoagulasi**. Jurnal Teknik Vol 5 No. 1 Juni 2009.
- Yunarsih, N. M. 2013. **Efektifitas Membran Khitosan dari Kulit Udang Galah untuk Menurunkan Fosfat dalam Air Limbah Laundry**. Thesis. Denpasar : Universitas Udayana.
- Zille, A. 2005. **Laccase Reaction for Textile Appllication**. Disertasi. Textile Department Universidade do Minho.

BIOGRAFI PENULIS



Tiara Aulia Kusumaningratri dilahirkan di Nganjuk, Jawa Timur pada tanggal 24 Oktober 1993. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Pertiwi, SDN Dabasah 3 Bondowoso, SMPN 1 Bondowoso dan SMAN 2 Bondowoso. Pada Tahun 2012, penulis melanjutkan kuliah di Teknik Lingkungan FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis pernah aktif sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Teknik

Lingkungan (HMTL) pada tahun 2013-2014 sebagai staff Departemen Hubungan Luar dan 2014-2015 sebagai Sekretaris Departemen Hubungan Luar. Penulis juga sempat aktif pada HMTL Mengajar dan ITS Mengajar. Penulis pernah mengikuti beberapa pelatihan seminar yang diselenggarakan di Jurusan, Institut, Regional dan Nasional. Penulis juga pernah meraih juara 3 dalam LKTI tingkat nasional di UGM Yogyakarta pada tahun 2014. Pada Tahun 2015, penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT Pertamina EP Cepu, Jawa tengah. Tahun 2016 penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Penggunaan Membran Komposit Kitosan dan Zeolit pada Pengolahan Limbah Pewarnaan Batik”. Bagi pembaca yang memiliki saran dan kritik maka bisa menghubungi penulis melalui email auliatlara24@gmail.com